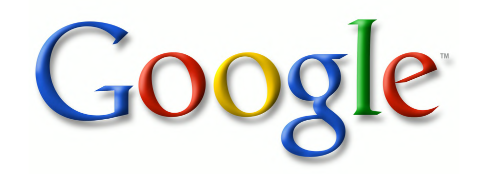




Kurt Servos
19 September 1959

Kurt Servos
19 September 1959

[Bilder-Atlas]

Wi

Atlas des Bergwesens.

Von

Reinhold Schwamkrug und **Ferdinand Bischoff**

Baumeister an dem Muldner Hüttenwerke bei Freiberg. — Hüttenmeister an dem Blaufarbenwerke in Pfannenstiel bei Aue.



8 Tafeln in Holzschnitt nebst erläuterndem Texte.

Separat-Ausgabe aus der zweiten Auflage des Bilder-Atlas.

Leipzig:
F. A. Brockhaus.

1874.



Inhalt.

	Seite
Einleitung	3
Geschichtliches	4
Bergbaukunst. Bearbeitet von R. Schwamkrug. (Tafel 1 bis 4.)	
I. Das Vorkommen der nutzbaren Mineralien	6
II. Das Aufsuchen der Lagerstätten	8
III. Das Gewinnen und die Arbeiten desselben	9
IV. Der Betrieb der bergmännischen Grubenbaue	12
V. Der Grubenausbau	14
VI. Die Förderung der gewonnenen Massen	16
VII. Die Fahrung	18
VIII. Die Wetterführung	19
IX. Die Wasserhaltung	20
Metallurgie. Bearbeitet von F. Bischoff. (Tafel 5 bis 8.)	
I. Aufbereitung	22
II. Brennmaterialien	26
III. Hüttenprocesse	29
1. Das Rösten	30
2. Das Schmelzen	32
3. Sublimation und Destillation	36
4 Saigern und Krystallisiren	37
IV. Hüttenprocesse auf nassem Wege.	
1. Die Amalgamation	38
2. Auflösen und Fällen	38
V. Eisenhüttenwesen	39

Einleitung.

Das Bergwesen zerfällt in Bergbaukunst oder Bergwesen im engern Sinne und Hüttenwesen oder Metallurgie. Die Bergbaukunst beschäftigt sich im allgemeinen mit der Aufsuchung, Gewinnung und Förderung von nutzbaren Mineralkörpern in dem uns zugängigen Theile der Erdoberfläche, während die weitere Nutzbarmachung, das Zugutemachen dieser verschiedentlich zusammengesetzten Mineralkörper auf chemischem Wege Aufgabe des Hüttenwesens ist. Das Berg- und Hüttenwesen, beide in ihrer Geschichte und in ihrer technischen Entwickelung auf das engste zusammenhängend, bilden zwei große hervorragende und an sich doch heterogene Zweige der gesammten großartigen Industrie. Die Edelmetalle, als Gold und Silber, sodann das Eisen, die Kohle und das Salz u. s. w. sind beredte Zeugen von der Wichtigkeit und dem Werthe des Berg- und Hüttenwesens. Zur beiderseitigen nähern Definition mag nun in Kürze Folgendes als Einleitung bemerkt sein.

Die Bergbaukunst, welche sich als eine Wissenschaft aus den verschiedenen Theilen der Bergwerkskunde zusammensetzt, beschäftigt sich mit der Beurtheilung der Gebirge bezüglich der Aufsuchung und Auffindung bauwürdiger Lagerstätten und sonstiger nutzbarer Fossilien oder Mineralkörper in solchen, mit der Veranstaltung der dazu nöthigen Untersuchungsarbeiten, sowie mit der Veranstaltung und dem Betriebe aller derjenigen Grubenbaue und anderer Anlagen, die theils die Aufsuchung nutzbarer Fossilien, theils ihre Gewinnung, ihre Ausförderung bis zu Tage, theils die Ueberwindung aller sich hierbei entgegenstellenden natürlichen Hindernisse und Schwierigkeiten und endlich theils die mechanische Scheidung und Zubereitung der gewonnenen Fossilien betreffen.

Zu ihrer Ausübung macht sich die Erlernung vielfacher Hülfswissenschaften, wie Geologie, Mineralogie, Physik, Mathematik, Mechanik und Maschinenbau, sowie die Markscheidekunst, oder die Kunst der unterirdischen Orientirung unentbehrlich, und ist die Bergbaukunst, wie jede andere Erfahrungswissenschaft, durch den ewigen Fortschritt der Zeit allmählich, gestützt auf fortgesetzte Erfahrungen und durch irgendwelche epochemachende Erfindung, mehr und mehr ihrer Vervollkommnung und ihrem heutigen Standpunkte entgegengeführt worden.

Im großen Ganzen trennt man den Bergbau in zwei große Abtheilungen, in den Erz- und den Flötzbergbau, welch letzterer den Kohlen- und den Steinsalzbergbau in sich schließt, und nicht mit Unrecht. Denn obschon beide in allen Grundsätzen der Bergbaukunst sich vollkommen gleichstehen, so unterscheiden sich dieselben doch darin, als letzterer selbständig für sich dastehend, es mit bedeutenden und sofort zu verwerthenden Massen zu thun hat, während der Erzbergbau in der Hauptsache nur Massen liefert, die an sich zwar edel und werthvoll sind, zu ihrer Handelsverwerthung indeß noch einer Reihe von Processen unterworfen werden müssen, welche der zweiten wichtigen Branche, dem Hüttenwesen zufallen.

Während sonach der Bergmann es sich zur Aufgabe stellt, hinab in die Tiefen der uns zugänglichen Erdoberfläche zu dringen und die dort im finstern Schose der Erde verborgen liegenden Schätze unter Mühen und Gefahren zu heben und zu Tage zu fördern, macht der Hüttenmann, gestützt auf die Metallurgie, es sich zur Aufgabe, alle die natürlichen Verbindungen der Metalle mit andern Körpern und die man Erze nennt, zu lösen und die Metalle edel und rein dem Handel zu überliefern; denn obgleich die Metalle in der Natur in der mannichfaltigsten Weise vorkommen, so finden sich doch nur wenige derselben in reinem metallischen Zustande vor, sei es für sich allein oder in Gemeinschaft mit andern Metallen, oder an Schwefel, Sauerstoff und andere Körper gebunden. Alle Erze müssen einer längern oder kürzern Reihe von Processen unterworfen werden, welche die Darstellung des Metalls oder einer nützlichen Verbindung derselben bezwecken. Sie sind theils mechanischer, theils chemischer Natur, und entwickelt die Metallurgie alle diejenigen Grundsätze, nach denen die Ausscheidung der Metalle aus ihren Erzen wissenschaftlich richtig und zugleich mit Vortheil zu erfolgen hat.

Im engern Sinne beschäftigt sich die Metallurgie dagegen nur mit den chemischen Processen, nach denen die Darstellung im großen erfolgt; die mechanischen bilden den Gegenstand der Lehre von der mechanischen Aufbereitung der Erze, welcher gegenüber man die Metallurgie im engern Sinne auch wol als chemische Aufbereitung der Erze bezeichnet.

Die Metallurgie fußt demnach in zwei eng miteinander verwandten Wissenschaften, der Chemie und Physik, deren Erscheinungen sie schon kannte und verwerthete, noch bevor diese Wissenschaften anfingen selbständig zu existiren. Sie sind demnach früher der Entwickelung der Metallurgie nicht dienstbar gewesen, vielmehr hat sich diese auf rein experimentalem Wege entwickelt und, angeregt durch das dem Menschen angeborene Streben nach Gewinn, zu einem hohen Grade der Vollkommenheit erhoben. Bei der Metallurgie ist die Chemie in die Schule gegangen und hat in den Beobachtungen und Erfahrungen, welche bei der Darstellung der Metalle im großen gemacht worden sind, ihre eigentliche Basis gefunden. Jedoch schon längst hat die chemische Wissenschaft diese Schule verlassen, hat sich unabhängig von der Metallurgie entwickelt, ist mit Riesenschritten vorwärts geeilt und droht ihrem Lehrer zu entrinnen, welcher nur mit Anstrengung aller Kräfte dem frühern Schüler zu folgen im Stande ist. Aus diesem Streben aber, den vorangeeilten Schüler einzuholen und mit ihm gleichen Schritt zu halten, sind in unablässiger Reihenfolge die Fortschritte der Metallurgie und die fortlaufende Vervollkommnung der Processe entsprungen, sodaß jetzt die Stellung der beiden Wissenschaften vollständig verändert erscheint und die Metallurgie als nur ein Theil der chemisch-technischen Branche zu betrachten ist.

Bei der Eintheilung der Elemente in Metalle und Metalloide geht der Chemiker von ganz bestimmten Gesichtspunkten aus und beansprucht von einem Me-

talle, daß dasselbe metallischen Glanz besitze und für Elektricität und Wärme einen guten Leiter abgebe. Der Metallurg knüpft aber, wenn er das Metall in den Bereich seiner Wissenschaft gezogen wissen will, hieran noch weitere Bedingungen und verlangt, daß das Metall auch eine Gewinnung im großen gestatte und eine technische Verwerthung finde. Deshalb beschränkt er die Metalle des Chemikers nur auf einige wenige, zieht dagegen auch einige Metalloide, welche den letztgenannten Bedingungen entsprechen, in seinen Bereich, sodaß von den 46 bekannten Metallen Gold, Silber, Platin, Quecksilber, Kupfer, Blei, Zinn, Wismut, Antimon, Zink, Kadmium, Eisen, Kobalt und Nickel, von den Metalloiden Schwefel und Arsenik für die Metallurgie in nähere Betrachtung kommen.

Geschichtliches.

In den ältesten Zeiten, in denen die Geschichte der Völker noch in Fabeln gehüllt ist, finden wir das menschliche Geschlecht schon im Besitz von Metallen, um mit deren Hülfe den Boden zu bearbeiten, zu jagen, gegen den Feind zu kämpfen oder sich Bedürfnisse von Fremden einzutauschen. Mag diese letzte Anwendung von den Metallen auch die späteste sein, so ist sie doch so alt, daß auch davon die ersten Spuren geschichtlich nicht mehr ausgemittelt werden können. Um so weniger wird es möglich sein, denjenigen aufzufinden, welcher die Metalle zuerst gebraucht hat, sowie es auch nur das Resultat einer Wahrscheinlichkeitsberechnung sein kann, wenn man annimmt, daß Gold, Kupfer und Zinn am längsten bekannt sind, daß man nach diesen erst Silber und Blei, und zuletzt das Eisen kennen gelernt habe. Es konnten doch wol nur gediegene Metalle sein, durch welche die Menschen zuerst zur Kenntniß und zum Gebrauche derselben gelangten, und erst nachdem sie die Eigenschaft des Metalls, im Feuer flüssig zu werden, entdeckt hatten, konnten sie veranlaßt werden, das Erz, welches durch seinen Glanz und sein Gewicht als etwas Besonderes erschien, ins Feuer zu bringen, um zu sehen, was wol daraus würde. Die gediegen vorkommenden Metalle, Gold und Kupfer, sowie das leicht aus seinem Erze reducirbare Zinn, sind deshalb als die am frühesten bekannt gewordenen Metalle zu bezeichnen. Silber und Blei lernte man wahrscheinlich gleichzeitig aus dem stark glänzenden und ganz metallisch erscheinenden Bleiglanz darstellen, welcher beide Metalle enthält, wogegen die Darstellung des Eisens, welches nicht regulinisch angetroffen wird, schon bedeutende Fortschritte voraussetzt, weil dieselbe nicht ohne Beseitigung mancher Schwierigkeiten geschehen kann.

Leider sind die geschichtlichen Ueberlieferungen über den Bergbau sehr kärglicher Natur, und ist dies geradezu als eine Blöße in der Archäologie desselben zu bezeichnen. Die Nachrichten über die Bergbaukunst und Metallurgie der alten Völker, obschon hier und da zu Folgerungen von großem Tiefgange berechtigend, stehen doch zu vereinzelt und dürftig da, um aus ihnen eine Geschichte entwickeln zu können.

Den Zeitabschnitt bis zu Agricola füllen die Nachrichten der alten griechischen und lateinischen Schriftsteller, welche fast alle bei Plinius zusammenlaufen, während in der Periode nach Plinius fast nur die Araber die Träger der bergbaulichen Literatur gewesen sind. Eine klare und sachgemäße Geschichte fängt erst im 16. Jahrhundert an sich zu entfalten, wo Biringuccio, Erker und Agricola, seinerzeit der Mann des Jahrhunderts im Berg- und Hüttenwesen, ihre Werke schrieben.

Sprechende Zeugen für den Bergbau der Alten sind die zahlreichen Bingen und Haldenzüge aus allen Zeitaltern, welche der Nachwelt überkommen sind, und wenn auch die Erzväter des Bergbaues in Technik und Wissenschaft nur klein sein konnten, so waren sie doch groß in ihrer Ausdauer und bewundernswerth in ihren Mühen. Wie jede andere Wissenschaft hat sich die Bergbaukunst von ihrer Kindheit an allmählich aus sich entwickelt und haben hundertjährige Erfahrungen der größten Vielseitigkeit dazu gehört, den Bergbau successive zur heutigen Stellung zu bringen.

Die Geschichte lehrt, daß nicht allein Hauptereignisse derselben eine Rolle spielen, sondern oft auch die kleinsten Begebenheiten Werth gewinnen, sobald sie nur mit Aufmerksamkeit genügend gewürdigt werden. Auch dies hat auf die Entwickelung des Bergbaues seine weiteste Anwendung gefunden. Mit dem Fortschritte der Erkenntniß der Mineralkörper, sowie der Metallurgie und der Maschinentechnik, hat der Bergbau nach und nach an Größe, Ausdehnung und Vielseitigkeit gewonnen und sind Erze, die man aus Unkenntniß früher nicht zu Gute zu machen verstand, als völlig werthlos in die Halden mit verstürzt worden, die man nachmals mit großem Vortheile verwerthen konnte.

Gar mancher unter den lohnendsten und günstigsten Verhältnissen aufgenommene Bergbau mußte zum Erliegen kommen, weil man eben nicht die Mittel und Wege zur Hand hatte und kannte, alle die Schwierigkeiten zu beseitigen, die sich dem lohnenden Weiterbetriebe trotz größter Anstrengung unerbittlich in den Weg stellten. Daß gewisse bestimmte Zeitperioden, welche sich eng an gewisse Entdeckungen, Erfindungen oder politische Ereignisse, wie große Kriege, die Entdeckung Amerikas u. s. w. knüpften, für die Entwickelung des Bergbaues von Einfluß gewesen sind und sein mußten, liegt klar auf der Hand und findet in seiner Geschichte die vielseitigste Begründung. Aber auch das rege Interesse, welches dem Bergbau zufolge der Erkenntniß von der Wichtigkeit und dem Werthe der Metalle von jeher zutheil geworden ist, ist demselben ganz besonders förderlich gewesen. Aus übergroßer Vorliebe für den Bergbaubetrieb konnte es sich daher auch ereignen, daß der Feldbau zeitweilig eine grobe Vernachlässigung erfahren konnte, sodaß wie in den Jahren 761 und 843 im Böhmerlande die Hungersnoth unausbleibliche Folge war und sogar im Jahre 948 und später wiederholt ein Verbot der Goldseifenarbeiten daselbst aus diesem Grunde erlassen werden mußte.

Gehen wir etwas specieller in die Geschichte ein, so finden wir die ältesten Nachrichten von dem Betriebe bergmännischer Baue und metallurgischer Processe in dem Werke des Agatharchides, welcher 200 Jahre vor unserer Zeitrechnung die Goldbergwerke in Aegypten besuchte und angibt, daß die Methoden, wie er sie beschreibt, uralt seien. Ein gleiches Verfahren theilt uns Strabo als in Spanien angewendet mit, und Plinius berichtet über die Zugutemachung von Golderzen aus den spanischen Seifenwerken in ähnlicher Weise.

In der auf Plinius folgenden Zeitperiode, und zwar in den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung, blühte der Bergbau in Spanien, Britannien, Gallien, Italien, auf Sardinien, Illyrien, Macedonien und Kleinasien. Nach dem Untergange des römischen Reichs wurde die Kunst der Darstellung von Metallen verpflanzt nach dem oströmischen Reiche, aber auch über die Alpen getragen, weshalb wir schon am Anfange des

7. Jahrhunderts in Mähren, Böhmen, Sachsen und am Harze Bergbau und Hüttenwesen im Gange finden.

Bereits im Jahre 712 beginnt der wichtige Bergbau auf Spateisenstein am Erzberge zu Eisenerz in Steiermark, und im Jahre 725 ließ Primislaus aus böhmischem Silber Münzen prägen. Um die Mitte des 8. Jahrhunderts beginnt der Bergbau zu Schemnitz durch die Mährer und fällt in diese Zeit auch die Entdeckung der reichen und mächtigen Erzgänge von Přibram in Böhmen. Auch in Schweden blühte um diese Zeit der Blei- und Silberbergbau zu Sala auf. Allein nicht blos Gold, Silber, Blei, Kupfer, Zinn und Eisen, sondern auch Steinsalz und Steinkohlen waren Gegenstand bergmännischer Nachforschungen und Gewinnung, und befanden sich die berühmten Salzbergwerke im Salzburgischen schon zu Anfang des 10. Jahrhunderts im Betriebe.

Der Steinkohlen Englands wird bereits im Jahre 853 Erwähnung gethan, und fällt die Entdeckung der zwickauer Kohlenlager in das 10. Jahrhundert. Im 12. Jahrhundert finden wir ferner die Kohlengruben bei Lüttich und im 13. Jahrhundert die Kohlengruben von Newcastle, in Wallis und in Schottland, sowie bei Charleroi im Gange.

Also schon lange vor der Erfindung der Dampfmaschinen, dem Hauptconsumenten der Stein- und Braunkohlen, finden wir den Steinkohlenbergbau in seiner Entwickelung, und obschon Holz in unbegrenzter Fülle vorhanden, doch schon als werthvolles und für die heutige Industrie so hochwichtig gewordenes Heiz- und Schmelzmaterial erkannt, in Ausbeute begriffen.

Die Silberbergwerke von Reichenstein und Silberberg, die Goldwäschereien von Goldberg, der Kupfersteinbergbau von Rudolstadt und Kupferberg in Schlesien, ingleichen der in der Grafschaft Mansfeld, wurden schon im 12. Jahrhundert als längst bestehende Fundgruben edler Metalle geschildert.

Im Jahre 1171 wurden die Erzgänge bei Freiberg und 300 Jahre später die von Schneeberg in Sachsen entdeckt, und entwickelte sich der Bergbau wegen großer Ergiebigkeit an beiden Orten rasch zu bedeutsamer Ausdehnung. Im Jahre 1477 wurde beispielsweise in der schneeberger Grube Sanct-Georg eine Silberstufe gefunden von 2 Meter Breite und 4 Meter Länge, aus welcher an 400 Centner Silber geschmolzen worden sind, und war die Silberproduction der schneeberger Gruben in diesem und dem darauffolgenden Jahre so groß, daß nicht alles Silber vermünzt werden konnte, sondern als Silberkuchen unter die Gewerken vertheilt werden mußte. Auch die Zinnbergwerke zu Altenberg in Sachsen, deren Entdeckung um das Jahr 1458 fällt, waren in der ersten Zeit so ergiebig, daß ein Kux einen Werth von 5000 Reichsthalern hatte, zu damaliger Zeit ein enorm hoher Werth. Aber nicht allein über Sachsen, sondern über ganz Europa verbreitete sich der reichste Bergsegen, und es würde zu weit führen, all die vielen Bergorte aufzuzählen, wo Erzlagerstätten entdeckt wurden und Bergbau mit mehr oder weniger Erfolg gekrönt sich zufolge dessen etablirte. Die Erfindung des Schießpulvers, welche um das Jahr 1330 fällt, und dessen nachmalige Anwendung zur Sprengarbeit, war für die rasche Entwickelung des Bergbaues nach Länge und Teufe von größter Bedeutung und machte die Technik von dieser Zeit ab, indem der Betrieb der Grubenbaue immer mehr und mehr an Schwierigkeiten zunahm, folgerechte Fortschritte, Hand in Hand gehend mit einer zweckmäßigen Oekonomie des Bergbaues, und da man die Dampfkraft noch nicht kannte, so machte man sich neben der thierischen Kraft, oft unter großen Geldopfern und unter Benutzung und Aufziehung bedeutender Gefälle, die Kraft des Wassers zu Diensten. In diese Zeitperiode fallen die großartigen Wasserversorgungsanstalten mit ihren vielfachen Teich-, Graben- und Stollenanlagen, wie es zum Beispiel die von Freiberg, Schneeberg und am Harze bis auf die heutige Zeit sind, und sehen wir in der Geschichte der Entwickelung des Bergbaues Pferde- und Wasserradgöpel, Roß- und Radkunstgezeuge, Bulgenkünste und Heinzen, Pumpwerke, Wassersäulenkünste, Pochwerke und Stoßherde u. s. w. nacheinander entstehen.

Die Erfindung der Buchdruckerkunst um das Jahr 1436 konnte ferner nicht ohne den wesentlichsten Einfluß auf die Ausbildung der Bergbaukunst und deren Hülfswissenschaften bleiben, und ist dieselbe durch die dadurch erst in umfassenderer Weise möglich gewordene gegenseitige Mittheilung zu einem natürlichen Hebel für das Emporblühen des Bergbaues für alle Zeiten geworden. Man begegnet daher auch schon zu Anfang des 16. Jahrhunderts einzelnen Werken, welche von der Kunst Bergbau zu treiben handeln, oder sonstige den Bergbau betreffende höchst interessante Mittheilungen enthalten.

Was nun speciell das Hüttenwesen anlangt, so liegt es klar auf der Hand, daß wo Erze und Metalle gegraben wurden, auch Hütten entstanden, um dieselben zu Gute zu machen, zu verarbeiten, und ist es ferner eine natürliche Folge gewesen, daß das Berg- und Hüttenwesen in ihrer gegenseitigen Entwickelung stets Hand in Hand gegangen und in ihrer Geschichte rein verschwistert sind.

Die wesentlichen Fortschritte und Verbesserungen in den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung sind indessen lediglich den Arabern zu verdanken, welche sich in Spanien besonders eifrig mit der Pflege der Chemie beschäftigten. Die Gewinnung des Goldes durch Amalgamation, die Darstellung des Silbers aus silberhaltigem Kupfer durch Saigerung, sowie die Scheidung des Silbers vom Golde auf nassem Wege sind unbezweifelt arabischen Ursprungs. In den Werken des Geber, oder wie sein arabischer Name heißt: Dschafar-al-Sofi, und in denen des Avicenna (Ebn Sina) sind die Forschungen des 8. und 10. Jahrhunderts niedergelegt, welche die Vermuthung bestätigen, daß fast nur allein durch Geber die Fortschritte in den Kenntnissen seit den Zeiten des Plinius herbeigeführt worden sind.

Im 13. Jahrhundert, in welche Zeit auch die Gründung der mansfeldischen Hütten fallen soll, erfahren wir durch Albert von Bollstedt (Albertus Magnus), der aus Liebe zu den Naturwissenschaften den reichen Pfründen eines Bischofs von Regensburg entsagte, eine Darstellungsweise des metallischen Arsenils und erhalten eine vollständige Beschreibung der Schmelz-, Destillations- und Sublimationsprocesse der damaligen Zeit. Im 15. Jahrhundert gibt uns Basilius Valentinus zuerst Kunde von dem Wismut und Antimonmetall, und im 16. Jahrhundert der berühmte Theophrastus Paracelsus eine Beschreibung der Eigenschaften des reguliniscchen Zinks. Gleichzeitig mit dem letztern lebte Georg Agricola, welcher, zu Glauchau in Sachsen 1494 geboren, in der Geschichte der Metallurgie durch sein berühmtes Buch „De re metallica" epochemachend gewesen ist. Seine ausgezeichnete Ausbildung in Leipzig und Italien, sowie seine Vorliebe zum Studium der Naturwissenschaften bewirkten seine ausgezeichneten Leistungen auf diesem Gebiete. Neben seiner ärztlichen Praxis, die er in der erzgebirgischen Bergstadt Joachimsthal ausübte, widmete er sich der Metallurgie und Mineralogie, wozu ihm durch die dortigen berühmten Hütten und Bergwerke reiche Ge-

legenheit geboten war. Seine Werke, sowie auch die des Paracelsus, schildern mit außerordentlicher Klarheit und Schärfe, im Gegensatze zu dem mystischen Stile der Vorgänger, die hüttenmännischen Manipulationen der damaligen Zeit. Agricola verdankt die Metallurgie höchst vortheilhafte Vorschriften, welche bis zum Ende des 18. Jahrhunderts als Richtschnur gedient haben. Seine Angaben über die Zweckmäßigkeit der Geräthe und die Construction der Oefen, seine Aufbereitungskunst und vor allem seine Lehre vom Probiren der Erze sind noch heutigentags von classischem Werth und bilden die Grundlage für das System der heutigen gesammten Metallurgie, weshalb man auch mit Recht von dem Erscheinen des Werks Agricola's eine neue Periode der Geschichte der Metallurgie datirt.

Gleichzeitig mit Agricola schrieben über metallurgische Gegenstände mehrere Schriftsteller, deren Werke jedoch mit wenig Ausnahmen im Wettstreite mit Agricola's Schrift der Vergessenheit anheimfallen mußten. Ueber die von Agricola zuerst ausführlich behandelte Lehre vom Probiren der Erze, welcher derselbe eine besondere Wichtigkeit beilegte, erschienen nach dessen Tode mehrere Schriften, wie 1574 von Lazarus Erker, Bergmeister zu Annaberg, und 1595 von Libarius, Arzt zu Rothenburg. Ueber Metallurgie im allgemeinen schrieb 1589 Johann Mathesius seine berühmte „Sarepta oder Bergpostille", welche in Gestalt von Predigten eine Anleitung zur Metallurgie enthält. Dieser erwähnt auch zuerst den Kobalt, als ein giftiges und wildes Metall. In dieses Jahrhundert fällt auch die Gründung der ersten königlichen Hütte (1564) bei Freiberg in Sachsen, aus der die berühmten freiberger Hütten entstanden sind; auch soll bereits im Jahre 1571 das erste Blaufarbenwerk in Sachsen gegründet worden sein.

Die Fortschritte im folgenden Jahrhundert blieben unter dem Drucke des Dreißigjährigen Kriegs sehr zurück, und wir finden mit geringen Ausnahmen nur eine Nachlese der Werke des Agricola; das einzige nennenswerthe ist eine Metallurgie des Berghauptmann Löhneiß in Zellerfeld, welche 1617 erschienen, und vorzüglich die Verhältnisse des Oberharzes schildert. Die sächsischen Blaufarbenwerke entstanden 1620, und 1640 erschien die höchst interessante Metallurgie des spanischen Priesters Barba zu Potosi, welches Buch, aus Südamerika nach Europa herübergekommen, die erste Beschreibung des amerikanischen Amalgamationsprocesses brachte. In Deutschland wurde das Werk erst durch Vermittelung der Gesandten am spanischen Hofe am Ende des Jahrhunderts 1676 bekannt und trotz der wichtigen Nachrichten wenig beachtet. Die Flammenöfen, über deren Anwendung in Amerika uns von Barba berichtet wird, sind erst am Ende des 17. Jahrhunderts in England zum Blei- und Kupferschmelzen angewendet worden, möglicherweise infolge des Barba'schen Werks.

Im Jahre 1700 erschien Röpler's „Hellpolirter Bergbauspiegel", mit einer Beschreibung der sächsischen Hüttenwerke, welche 1710 zu der jetzt noch existirenden General-Schmelzadministration vereinigt wurden. Ein Werk von Schlüter in Goslar, welches 1738 herausgegeben wurde, läßt deutlich die Fortschritte seit der Zeit des Agricola erkennen, da es die damals üblichen Verfahrungsweisen in ausführlicher Weise schildert. Schlüter beanspruchte für sich die Erfindung der Röstflammenöfen und führte die Saigerarbeit am Harze ein. Die Meatllurgie wurde bis dahin von einer richtigen Theorie nicht unterstützt und blieb demnach bogleich im Praktischen Fortschritte gemacht wurden, unverhältnißmäßig zurück. Die Fortschritte konnten sich nur auf mechanische Vervollkommnungen erstrecken, und erst mit der Entwickelung der chemischen Wissenschaften, welche ein richtiges Verständniß von dem, was bei den Hüttenprocessen vorgeht, vermittelten, wurde es möglich, gründliche Versuche über diese anzustellen und zum Abschluß zu bringen, Versuche, die auf theoretischer Grundlage einen Nutzen für die Praxis geben konnten. Ueberzeugt von der Wichtigkeit, welche die Theorie für die Praxis haben mußte, gründete man 1765 die freiberger Akademie, 1770 die zu Schemnitz und 1783 die Ecole de mines zu Paris.

Seit dem Anfang dieses Jahrhunderts befindet sich die Metallurgie, unterstützt von den Ergebnissen der chemischen Forschung, in ununterbrochenem Fortschreiten, und steht es zu erwarten, daß sie auch die neuesten Resultate der Chemie in der Praxis verwenden wird. Aber auch die Fortschritte der Mechanik und der speciellen Maschinenbaukunst hat sich die neuere Metallurgie zu Nutze gemacht und in ihrem Interesse in oft staunenerregender Weise verwerthet. Wie wäre es zum Beispiel ohne dieselben möglich gewesen, Oefen und Gebläse herzustellen, wie man sie jetzt baut, und wie hätte Bessemer seinen epochemachenden Stahlproceß ausführen können, ohne sich mit dem Maschinenconstructeur zu verbinden?

Die Namen derjenigen, welche im Laufe dieses Jahrhunderts die Metallurgie auf wissenschaftlicher Grundlage behandelten und zu einer Wissenschaft, welche ebenbürtig neben den andern technischen Fächern bestehen kann, ausbildeten, haben auch in den verwandten Wissenschaften einen guten Klang, und Namen, wie die eines Lampadius, Karsten, Plattner, Scheerer, Rammelsberg und Kerl, haben Ruf weit über die deutschen Grenzen hinaus, während die Leistungen eines Heron de Villeforse, Rivot, Gruner und Percy auch bei uns in wohlverdienter Achtung stehen.

Bergbaukunst.

Bearbeitet von R. Schwamkrug.

(Tafel 1 bis 4.)

I. Das Vorkommen der nutzbaren Mineralien.

Das Vorkommen und Auftreten von Gängen und Lagerstätten ist sehr verschieden, nach Ort und Zeit, und fast in allen Formationsgliedern nachgewiesen. Mit Ausnahme des Granits, welcher in der Hauptsache nur etwas Zinn führt, enthalten die sogenannten Urgebirge alle Metalle. Die Uebergangsgebirge sind ebenso fast gleichförmig metallreich, und weist nur der Kalkstein einen größern Reichthum an Blei und Eisenstein nach, während endlich die Flötzgebirge, deren Gruppirung das Steinsalz, der Anthracit, die Steinkohle und Braunkohle u. s. w. zu eigen sind, je jüngerer Bildung dieselben angehören, immer ärmer an Metallen werden, und von diesen nur noch der alte Flötzkalkstein ein Hauptdepot für Kupfer-, Silber- und Bleierze, Galmei und Eisensteine bildet.

Da ein Theil der festen Erdkruste aus übereinandergeschichteten Ablagerungen, aus sogenannten Schichtgesteinen, welche in der Regel organische Reste aus frühern Perioden als Versteinerungen enthalten, besteht, so nennt man diese, da sie zumeist vom Wasser zusammengeschwemmt oder geflößt sind, Flötzformationen, und nennt die darinnen parallel den Schichtungen derselben auftretenden nutzbaren Mineralhäufungen Bänke oder Flötze. Hier sind es vor allem die Kohle und das Eisen, welche sowol in volkswirthschaftlicher als auch in technischer Beziehung von größter Bedeutung geworden sind und den Haupthebel zur Entwickelung der gesammten großartigen Industrie gebildet haben.

Die Art des Vorkommens der Erze ist eine sehr verschiedene, bald füllen sie in Verbindung mit andern Mineralsubstanzen mehr oder weniger weit nach Breite und Tiefe sich erstreckende Spaltungsräume mit annähernd parallelen Wänden aus, und zwar abweichend im Fallen und Streichen von den Schichten des Gebirgs, und heißen dann *Gänge*, bald sind sie als Lager oder *Flötze*, als plattenförmige Einlagerungen parallel in Bezug auf die Richtung der Ausbreitung, das Fallen und Streichen mit den sie umgebenden Schichtenwechsel eingeschichtet, bald treten sie auch als mehr oder weniger massige, unregelmäßige, sich an eine bestimmte Form nicht haltende Anhäufungen auf, die je nach ihrer größern Ausdehnung als liegende oder stehende *Stöcke* Bezeichnung finden, bald endlich ohne irgendeine regelmäßige Begrenzung, isolirt, oft auf ein großes Verbreitungsgebiet hin als bloße Imprägnationen auf.

Sowol bei den Gängen, als auch bei den Lagern und Flötzen unterscheidet man das Streichen und Fallen, und versteht man unter dem Streichen diejenige Abweichung, welche eine in der Lagerstätte angenommene gerade Linie mit der Mitternachtslinie bildet, und unter dem Fallen die Neigung der Lagerstätte gegen den Horizont, sodaß die Falllinie eine gegen das Streichen rechtwinkelig gezogene Linie bildet und das wahre Fallen nach Graden bemißt. Hierbei pflegt man Lagerstätten von 90—75 Grad Fallen saiger, von 75—45 Grad Fallen tonnlägige, von 45—15 Grad Fallen flache und von 15 Grad bis Null Grad Fallen schwebende zu nennen und bezeichnet ferner die Gänge, je nach ihrer Streichrichtung, welche nach Stunden eingetheilt ist, als Stehende von hor 12—3, Morgengänge von hor 3—6, Spatgänge von hor 6—9 und flache Gänge von hor 9—12, und ist in Fig. 1, Taf. 2 in der Ecke links die Kompaßeintheilung angegeben. Ferner spricht man von der Mächtigkeit, das ist die Dicke einer Lagerstätte, sowie von dem Hangenden oder Liegenden, oder auch Dach oder Sohle derselben, und versteht hierunter die Begrenzungsschicht nach oben und unten.

Das Ausbeißen oder Ausgehende ist das Endigen eines Lagers zu Tage oder an der Erdoberfläche.

Selten haben die Lagerstätten auf ihre ganze Mächtigkeit und auf ihre Ausdehnung nach Länge und Teufe eine gleichmäßige und gleichartige Ausfüllung, und charakterisiren sich die Gänge nach ihren verschiedenen Ausfüllungen in Gesteins-, Mineral- und Erzgänge, und zeigen sich gerade bei den letztern die mannichfachsten und dem Bergmann oft sehr unliebsame Verschiedenheiten in der Ausfüllung. Es wechselt das Erz mit der Gangmasse ab und tritt der Fall sehr häufig ein, daß oft beträchtliche Längen in tauber Gangmasse zu durchörtern sind, ehe und bevor sich das Erz in diese wieder ein- oder anlegt.

Die Vertheilung der Erze ist nun entweder schichten- oder conglomerat- und preccienartig, oder auch durchnestert, schnuren- und blumenartig, selten aber derb. Größere Partien von Erz heißen Mittel, kleinere Nieren, und unterscheidet man auch bergmännisch, je nach dem Werthe und dem Gehalte der Mittel, reiche, arme und taube Mittel. Aber auch hinsichtlich der Lagerung sind die Lagerstätten als Gänge und Flötze der mannichfachsten Configuration unterworfen. Oft scharen und schleppen sich zwei Gänge, wenn sie unter einem spitzen Winkel aneinander herankommen, ein beträchtliches Stück, ehe sie in ihre frühere Streichrichtung zurückkehren, und findet solchenfalls an diesem Punkte eine reichere Erzniederlage statt, eine Veredelung, oder es durchsetzen sich fast rechtwinkelig zwei Gänge, und man hat zum Theil Erzfälle, zum Theil sogenannte Erzschwinden.

Gewöhnlich steht im Zusammenhange hiermit eine Verwerfung, und ist der Verworfene der ältere und der Verwerfer ein jüngerer Gang. Infolge der Verwerfung nimmt die eine Lagerstätte eine veränderte Lage an, und findet man zumeist das Hangende verschoben, und zwar entweder ab- oder aufwärts, oder auch zur Seite.

Bei Wiederaufsuchung des verworfenen Theils geht man davon aus, daß man die Größe der Verwerfung berechnet und dann auf dem Verwerfer, welcher auch in einer bloßen Kluft bestehen kann, in die Tiefe niedergeht. Die Lager oder Flötze, welche, wie schon bemerkt, plattenförmige, mit den sie umgebenden Gesteinsschichtungen parallellaufende Einlagerungen sind, haben gleiche Entstehung mit dem Gebirge, worinnen sie auftreten. Wenn der deutsche Bergmann zwischen Lagern und Flötzen noch einen Unterschied macht, so liegt der Unterschied lediglich in der Zeitfolge, und nennt derselbe Lager solche, welche in den ältern und ältesten Gebirgen, Flötze hingegen, die im obern Theile des primären Gebirgs oder Steinkohlengebirgs aufsetzen. Die Flötze zeigen im ganzen größere Verschiedenheiten als die Gänge; auch treten sie nach ihrem Streichen und Fallen viel mächtiger auf als jene, und erreichen dem Streichen nach nach oben und unten ihre Endschaft. Obschon die Flötze sich durch vollständigen Parallelismus mit den Schichtungen des Gebirgsgesteins charakterisiren, so treten doch hier auch Abänderungen verschiedener Art, welche zumeist ihren Grund in einer ursprünglichen oder spätern Veränderung in der Lagerung haben, auf, zu welchen in der Hauptsache Umlagerungen, mulden- oder wannenförmige Einlagerungen, deckel- oder sattelförmige Auflagerungen, Luftsättel gehören; ferner können die Flötze durch Heben der Kohle stark aufgerichtet, fast saiger sein, wol auch gar übergekippt, und auch in Bezug ihrer Mächtigkeit sehr schwankend sein, infolge Verdrückung, Gabelung, Auftreten von Scheren, das sind taube Schichten parallel dem Streichen und Fallen des Flötzes. Treten dann auch noch Verwerfungen und Sprünge hinzu, die bei Flötzen viel größer sein können als bei Gängen, so können dem Bergmanne unter Umständen große Verlegenheiten in der Aufsuchung und Bebauung erwachsen

Im übrigen können Flötze sich so oft repetiren, als das Gebirge, in welchem sie aufsetzen, aushält. Man hat Gebirge, welche bis zu 100 Flötzen führen. Hierzu Fig. 3 auf Taf. 2.

Die Stöcke treten gleichfalls in jüngern und ältern Gebirgsgliedern auf und kennzeichnen sich in letztern durch eine mehr oder weniger plattenförmige Configuration. Sind sie mehr oder weniger aufgerichtet, unterscheidet man stehende oder liegende Stöcke, und sind es gewöhnlich Salz, Eisen und Kiese, welche als stockförmige Massen auftreten. Außerdem rechnet man zu den stockförmigen Massen auch noch rundliche Körper von unregelmäßiger Form, welche unter besondern Umständen Nieren, Nester, Butzen, Höhlenausfüllungen u. s. w. genannt werden. Die Stöcke werden als ältere Gebilde nicht selten von Gängen durchsetzt, durchschwärmt, und hat man eine Fortsetzung der Gänge über die Grenzen des Stocks hinaus in vielen Fällen beobachtet, während andererseits dieselben mit dem Stockscheider ihre Endschaft erreichen.

Die Imprägnationen, welche rein locales Vorkommen von besondern Mineralien, insonderheit von Erzen sind, treten innerhalb gewöhnlicher Gesteine, ohne scharfe Umgrenzungen auf. Bei ihnen unterscheidet

der Bergmann selbständige und unselbständige Imprägnationen, und versteht unter erstern diejenigen, welche für sich allein ohne andere Lagerstätten auftreten, unter letztern dagegen diejenigen, welche Lager, Gänge oder Stöcke an ihren Grenzen begleiten.

Außerdem kann man aber auch der Form nach noch lagerförmige, gangförmige oder stockförmige Imprägnationen unterscheiden.

Schließlich sei noch der sogenannten Seifen Erwähnung gethan, welche als Gebilde, locale Anhäufungen und Ablagerungen von Zerstörungsproducten vorhanden gewesener Lagerstätten und ganzer Gebirgsmassen, durch die Einwirkungen des Wassers entstanden, für sich allein dastehen.

Die Seifen liegen offen zu Tage aus, nur bedeckt von Rasen, oder auf dem Gebirge unter der Dammerde. Sie treten zumeist in flachen Thälern oder auf flachfallenden Gebirgsplateaux auf.

Natürlich sind die Seifen reicher an Metallen oder Edelsteinen als die Gebirge, denen sie ihren Ursprung verdanken, und sind die Seifen um so reicher, je näher sie dem Abstammungsorte sich befinden. Die Seifen sind hauptsächlich wichtig für den Goldbergbau, denn das meiste Gold liefern ja die Seifen. Ferner in großen Massen das Zinn, Seifenzinn genannt, auch Kupfer und Edelsteine.

II. Das Aufsuchen der Lagerstätten.

Gewöhnlich sind es äußere Anzeichen oder paragenetische Erscheinungen, welche auf das Vorhandensein von Lagerstätten hindeuten oder schließen lassen und so dem Bergmanne zum Führer werden. Selbstverständlich muß derselbe Kenntniß über die Art des Vorkommens haben, das heißt er muß wissen, unter welchen Verhältnissen größere Massen in Gebirgen vorkommen und auftreten können, und muß ferner wissen, in welcher Zusammengehörigkeit die einzelnen Metalle und Mineralkörper sich zueinander befinden.

Im übrigen ist die Untersuchung auf Lagerstätten nichts weiter als eine geognostische, nur mit dem Unterschiede, daß dieselbe genauer in Bezug auf Räumlichkeiten zu geben hat, als bei der bloßen geognostischen Beurtheilung, wobei sich selbstverständlich Schwierigkeiten so mancher Art in den Weg legen. Die hauptsächlichsten Anhalten bieten entschieden die bloßgelegten Gebirgstheile, schroffe Gebirgswände, Spitzen u. s. w. Sie alle zeigen oft in ihrer Bloßlegung Gänge, ingleichen Thäler, Flußbetten, Einschnitte und dergleichen.

Wichtig für die Aufsuchung von Lagerstätten sind ferner Bruchstücke, Geschiebe, Sand u. s. w. von verschiedenen Mineralkörpern, und am wichtigsten wol bei Aufsuchung von Gängen der sogenannte Schweif, unter welchem man die Färbung der Erde über einem Gange, hervorgerufen durch die Zersetzung eines in der Nähe aufsetzenden Ganges, versteht. So läßt beispielsweise der rothbraune Schweif auf das Vorhandensein von Eisensteinen, der grüne auf Kupfer und der schwarze auf Kohlen schließen, und sind es in der Regel Metallsalze oder Erden, welche durch ihr Ausblühen oder Auswittern die Färbung des Schweifs erzeugen.

Nicht minder werden Quellen und das Wasser überhaupt durch den Gehalt an Sintern oder andern mineralischen Bestandtheilen zum Gegenstande bergmännischen Interesses und der Untersuchung.

Handelt es sich ferner um die Untersuchung eines Gebirgs, wo schon in frühern Zeiten Bergbau umging, also um ein sogenanntes auflässiges Gebirge, so sind es hier vor allem alte Nachrichten, Spuren vom alten Bergbau selbst, als da sind Bingen und Haldenzüge, Ueberreste bergmännischer Baue, das Vorhandensein von Erzbruchstücken und wie sie alle heißen mögen, welche den Nachweis über das Auftreten von Lagerstätten und von bestimmten Erzen mehr oder weniger liefern.

Hat man nun eine Lagerstätte durch das Ausgehende oder sonstwie angedeutet gefunden, so geht man ihr nach und sucht sie zu entblößen, es beginnt das Schürfen, das Bloßlegen des Gesteins zum Zwecke der Untersuchung, wobei die Erde in senkrechter Richtung geöffnet wird, oder das Ueberröschen, indem man der Lagerstätte mit gräbenartigen Vertiefungen, auf größere Längen geführt, nachgeht.

Das wichtigste Auskunftmittel aber, die Lagerstätten und namentlich die Flötze zu untersuchen, bildet das Erdbohren oder die Herstellung cylindrischer, röhrenähnlicher Löcher, weil man bei einem kleinen Querschnitte tief in das Innere hinein mit verhältnißmäßig wenig Kosten vordringen kann.

Das Erdbohren ist in seinem Gebrauche schon sehr alt, und namentlich in seiner Anwendung zur Auffindung von Brunnen schon den alten Aegyptern und Syriern bekannt gewesen. Die älteste Andeutung im Mittelalter fällt in das 12. Jahrhundert, und erst im 17. Jahrhundert tritt das Erdbohren mehr und mehr in Italien und Rußland und dann zu Artois in Frankreich, wonach diese Brunnen „Artesische" genannt, auf.

Die größten Tiefbohrungen bei einer Weite von 0,2 bis 0,75 Meter haben eine Tiefe von 600 Meter und darüber erreicht, während man jetzt mit mehr oder weniger Erfolg sogar ganze Schächte in einer Weite von 3—4 Meter durch Bohren in die Tiefe stellt.

Der gesammte Bohrapparat, denn als solcher muß er wol infolge seiner großen Vielseitigkeit genannt werden, besteht zunächst in den eigentlichen Bohrern und deren Hülfsstücken, dann aber in verschiedenartigsten Hülfsvorrichtungen und Geräthen, sowie endlich in verschiedenen Bohrmaschinen, von welchen auf Taf. 2, Fig. 5 bis mit 51 einige der hauptsächlichsten Vorrichtungen u. s. w. wiedergegeben sind.

Das Bohren selbst anlangend, so hat man zwei Methoden, und zwar das Bohren mittels steifen Gestänges oder das Gestängbohren und das Seilbohren, wobei der Bohrkopf an einem gewöhnlichen Seile aufgehangen ist.

Jeder Gestängbohrer besteht aus dem Bohrgestänge, dem Kopfstücke und dem Oberstücke, und wird derselbe je nach der Tiefe des Bohrlochs aus mehr oder weniger Gestängtheilen, Schaftstücke genannt, zusammengesetzt.

Mittels des Oberstücks, welches stets oberhalb des Bohrlochs bleibt, wird der Bohrer an einem Seile in das Bohrgerüst gehangen, und muß dasselbe so eingerichtet sein, daß man den Bohrer ohne das Seil mit Leichtigkeit drehen oder umsetzen kann. Das Gestänge besteht in der Hauptsache aus quadratischem Schmiedeeisen, selten aus Holz, dessen Querschnitt von der Teufe des niederzubringenden Bohrlochs abhängig zu machen ist, und wird in seinen einzelnen Schaftstücken durch sogenannte Schlösser, Zungen-, Fig. 17, oder Schraubenschlösser, Fig. 16, fest zusammengesetzt.

Die Schraubenschlösser, welche ihrer leichten Lösbarkeit halber die einfachste und gebräuchlichste Verbindungsart bilden, lassen aber die Drehung des Gestänges nur nach einer Richtung hin erfolgen, während letzteres bei den Zungen- oder Gabelschlössern nicht der Fall ist.

Die Bohrstücke, das sind die Bohrköpfe, haben je nach der Beschaffenheit des Gesteins oder je nach der Art des Bohrens, ob drehend oder stoßend, wol

auch nach der Weite des Bohrlochs selbst verschiedene Form.

Man hat Hohl- und Schmiedebohrer, Fig 5, 6, 7, zum Drehendbohren, und Voll- oder Kopfbohrer, zum Stoßendbohren, Fig. 8, 9, 10, 11, 12. Während erstere nur in milbem Gestein Anwendung finden können, werden die Vollbohrer nur bei festem Gesteine, da es sich hier um ein Zermalmen desselben handelt, angewendet. Fig. 8 und 9 stellt einen Meißel, Fig. 10 einen Flügelmeißel, Fig. 11 einen Kronen- und Fig. 12 einen Kolbenbohrer dar.

Außer diesen Bohrern gibt es nun noch eine größere Anzahl von Modificationen.

Mannichfaltiger als die Bohrköpfe sind nun die Hülfsstücke beim Bohren, und unterscheidet man je nach ihrem Zwecke solche Stücke, welche bei jedem Bohren zur Anwendung gelangen müssen und solche Hülfsstücke, welche in besondern Fällen, wie z. B. bei Gestängbrüchen u. s. w., angewendet werden müssen.

Zu erstern gehören das Setzkreuz oder die Bohrkrücke, Fig. 30, ein zweiarmiger Hebel, welcher einige Meter unter der Erdoberfläche am Gestänge fixirt ist und vom Bohrmeister beim Drehendbohren umgesetzt wird; ferner die Gleit- oder Rutschschere, eine Vorrichtung innerhalb des Gestänges zum Zwecke der Theilung der Gestänglast, dann verschiedenartige am Gestänge angebrachte, zur Geradführung desselben dienende Leitungsvorrichtungen, sodann Freifallvorrichtungen, wie sie von Kind, Fabian und Werner angegeben worden sind, welche den Vortheil eines raschen und sichern Bohrens für sich haben und darin bestehen, daß nicht das ganze Gestänge mit dem Bohrer aufschlägt, sondern letzterer als besonderes Abfallstück für sich allein, sodaß das Gestänge den directen Stößen und deren Schlösser u. s. w. einer Beschädigung infolge dessen nicht ausgesetzt sind. Beim Kind'schen Freifallbohrer, Fig. 15, sind es zwei Zangen, die sich beim Auf- und Niedergange des Bohrgestänges schließen und öffnen und so den Bohrkopf fassen oder fallen lassen.

Da nun beim Bohren selbst Mehl oder beim Bohren mit Wasser Schmant entsteht, dieser aber, um die Bohroperation nicht zu hemmen, von Zeit zu Zeit zu entfernen ist, so hat man hierzu besondere Schmantlöffel, welche in der einfachsten Einrichtung in einem mit einem Bodenventile versehenen Blechcylinder bestehen, wie Fig. 27 zeigt, und wird dieser Löffel an einem einfachen Seile, nach Beseitigung des Gestänges, in das Bohrloch hinabgelassen.

Da das Auslöffeln des Bohrlochs von der Bohrzeit selbst enorme Zeit absorbirt, so hat man auch Vorrichtungen verschiedener Art in Anwendung gebracht, das Löffeln ganz zu ersparen und gleich mit dem Bohrkopfe eine Löffelvorrichtung in Verbindung gebracht.

Bei hohlen Gestängen hat sich dies am besten bewerkstelligen lassen, indem man Wasser in das Bohrloch einführt, welches den Schlamm im Gestänge selbst in die Höhe führt.

Zur Regulirung von Bohrlöchern, was namentlich nothwendig wird, wenn stoßend gebohrt wird, hat man gleichfalls verschiedene Hülfsstücke, wohin beispielsweise Reiber, Büchsen und Kolben gehören.

Nicht selten ereignet es sich endlich, daß das Gestänge oder der Bohrer Brüche erleidet, und müssen, um das Bohrloch nicht ganz aufzugeben, alle Hebel und Mittel in Anwendung gebracht werden, diese Bruchstücke zu beseitigen. Hierher gehören nun die Fanginstrumente, von denen es fast ebenso viele Modificationen gibt, als Brüche vorkommen können. Ihr Zweck ist zu fassen, und richten sich dieselben in ihrer äußern Form und Art des Gebrauchs nach dem Stücke, welches zu beseitigen ist. Sie alle müssen möglichst einfach und leicht zu handhaben sein. Hierher gehören unter anderm der Geisfuß, der Winder, Fig. 19, die Düllschraube, Fig. 20, der Glückshaken, Fig. 21, die Trompete, Fig. 22, der Zangenfanghaken, Fig. 23, der Katzenfuß, Fig. 24, sodann die Spinnenbüchse, Fallfangschere, Fangschaufel, Teufelskralle und wie sie alle heißen.

Was nun schließlich die Bohrarbeit selbst betrifft, so dürfte es hier am Platze sein, einen kurzen Abriß derseben zu geben. Zuvörderst stellt man das Bohrgerüst, Fig. 32 und 33, oder den Bohrthurm auf, teuft einen Bohrschacht von etwa 2 Meter lichter Weite um etwa 3—4 Meter Teufe ab, setzt denselben in ganze Schrotzimmerung von eichenen Bohlen und richtet den sogenannten Bohrtäucher vor. Dies ist eine so weite hölzerne Röhre, daß sie die Einführung der größten Bohrgezähe gestattet, etwa 5 Meter lang und mit einem eisernen Schuh versehen. Sie wird mit Rammschlägen eingetrieben, ist genau abgebohrt und hat den Zweck, die verticale Richtung des Bohrlochs zu erhalten. Man schreitet nun zum Bohren selbst, welches entweder drehend oder stoßend, je nach der Beschaffenheit des zu durchteufenden Gesteins, geschehen kann. Die Grenzen der Höhe der Schläge liegen zwischen 0,15—0,5 Meter, je nach dem größern oder geringern Gewichte des Apparats.

Um während des Bohrens ein rundes Loch zu erhalten, ertheilt der Bohrmeister dem Werkzeuge eine drehende Bewegung, welche bei jedem Schlage etwa $^1/_6$ der Peripherie beträgt. Hat sich im Bohrloche so viel Schmant angehäuft, daß er der Wirksamkeit des Bohrens nachtheilig ist, so muß derselbe ausgelöffelt und das Bohrloch gereinigt werden. Das Gestänge ist zu diesem Behufe aufzuheben, zu welchem Ende der Bohrkopf durch einen Stangenhaken, der mit dem Seile verbunden worden, ersetzt wird. Die einzelnen Gestänge, welche angeholt werden, werden sodann abgeschraubt und das Gestänge jedesmal hierbei mittels der Abfangschere oder des Knechtes, Fig. 31, fixirt.

Das Gestänge selbst hängt an einem ungleicharmigen Schwengel, welcher mit einem Vorgeleghaspel in Verbindung steht, auf dessen Rundbaume eine Daumenscheibe sitzt, mittels welcher ein Emporziehen, das Anheben des Gestänges, erzielt wird. Hierbei ist das Hebelarmsverhältniß am Schwengel etwa 1 : 6 und noch mehr, und erfolgt der Betrieb entweder durch Menschen oder Maschinenkraft.

Um das Einbrechen der losen Gesteine oder vielleicht von schwimmendem Gebirge in die Bohrlöcher zu verhindern, versieht man diese letztern mit Bekleidungen von Blech, in Form von Röhren, das heißt, man büchst die Bohrlöcher aus, oder man stampft auch bei bedeutendem Nachfall in das Bohrloch Beton und Cement zur Ausfüllung der entstandenen Hohlräume ein, den man nachher wieder regulär durchbohrt und nachmals ausbüchst.

III. Das Gewinnen und die Arbeiten desselben.

Die verschiedenen Gewinnungsarbeiten, welche zum Zweck die Trennung der nutzbaren Fossilien aus der ganzen Gesteinsmasse haben, bilden im eigentlichen Sinne des Wortes den Beruf des Bergmanns.

Sie sind verschieden nach dem Grade der Gewinnbarkeit selbst, und unterscheidet man 1) rollige, 2) milde, 3) gebräche, 4) feste, und 5) sehr feste Massen.

Roillg nennt man dieselben, wenn die unterhöhlten

Massen, wie Sand, von selbst hereinrollen; **mild** ein Gestein, wenn es mit geringster Kraftanstrengung mit scharfem Gezäh gewonnen werden kann; **gebräch**, wenn bereits mehr Kraft in Anwendung zu bringen ist; **fest** ein Gestein, wenn scharfes Gezäh schon kaum mehr den Zusammenhang zu trennen vermag, und **sehr fest**, wenn scharfes Gezäh gar nicht mehr in Anwendung zu bringen ist.

Die Art der Gewinnungsarbeit ist ferner bestimmt durch die Wassernöthigkeit eines Gebirgs, dann durch die Beschaffenheit der Grubenbaue selbst, sowie durch verschiedene andere mehr oder minder zufällige Erscheinungen.

Die verschiedenen Gewinnungsarbeiten zerfallen aber ihrem Charakter nach:

1) in Handarbeit, in Verbindung mit scharfem Gezäh,
2) in der Wirkung des Pulvers durch seine Expansivkraft,
3) in der Ausdehnung durch Feuer, das Feuersetzen, und endlich
4) in der Wirkung des Wassers, infolge des Gefrierens oder Auflösens und Abspülens,

und gehören zu den verschiedenen Ausführungen derselben: 1) die Wegfüllarbeit, 2) die Keilhauenarbeit, 3) die Schlägel- und Eisenarbeit, 4) die Hereintreibarbeit, 5) das Bohren und Schießen, und 6) das Feuersetzen.

Der Bergmann hat nun zur Ausübung dieser Arbeiten die mannichfachsten Werkzeuge, Gezäh genannt, zur Seite und wird in vielen Fällen durch Maschinen, wie die Bohr- und Schrämmaschinen, wesentlich unterstützt.

Die **Wegfüllarbeit**, welche sich ausschließlich nur auf rollige und milde Massen beschränkt, wie Dammerde, Sand, Kies, Mergel u. s. w. hat als hauptsächliche Hülfswerkzeuge die Kratze, Schaufel, Gabel, Krücke und Spaten, und bedient man sich ferner bei milden oder zusammenhängenden Massen, wie z. B. Torf, eines dem Spaten des Gärtners gleichen schneidenden Werkzeugs, des Flügelspatens, welcher an den Seiten mit zwei Flügeln versehen ist, damit er auf zwei Seiten zugleich schneiden kann, sodann aber pflugartiger Maschinen, der sogenannten Torfpflüge, zum Abdecken größerer Massen.

Der milden Substanzen gibt es viele, wohin dichter und fetter Thon, zusammengebackener Sand, viele Alluvialbildungen, Sandsteine, granitische und prophyrartige Gesteine, die durch atmosphärische Einwirkung verwittert sind, sowie endlich Steinkohlen, Steinsalz, Schiefer- und Gangarten gehören. Bei ihnen allen tritt die **Keilhauenarbeit** auf, welche ihren Namen nach dem hauptsächlichsten Gezäh, der **Keilhaue** führt. Man hat sie einfach Taf. 2, Fig. 41 und 42 und doppelt Fig. 43, auch wol mit Spitze und Schneide, wie Fig. 44 zeigt. Die Keilhaue selbst besteht aus Eisen, und die Spitzen derselben, das Ort genannt, aus Stahl, und hängt die Größe und das Gewicht derselben ab von dem Raume, das heißt dem bergmännischen Baue und der Festigkeit des Gesteins. Als Modificationen der Keilhaue sind die Fäustelkeilhaue, der Schrämhammer und die Breithaue zu bezeichnen und tritt in Verbindung mit der Keilhaue die Anwendung der Brechstange, der Fimmel, des Schrämspießes und mehr oder weniger langer Keile, welche mittels des Schlägels eingetrieben werden, auf. Eine Unterart der Keilhauenarbeit bildet das Schrämen oder die Herstellung verhältnißmäßig schmaler Einschnitte in der zu gewinnenden Masse zum Zwecke der Theilung und der leichtern Gewinnung derselben. Man legt hierbei den Schram stets in die Ebene der Lagerstätte, parallel dem Streichen und Fallen, und dann gewöhnlich in eine taube oder minder werthvolle Schicht, und nur bei mächtigen Flötzen inmitten derselben. Da dieses Schrämen bei wenig mächtigen Flötzen eine für den Bergmann sehr beschwerliche und viel Kraft erfordernde Arbeit ist, so hat man hier mit mehr oder weniger Erfolg Schrämmaschinen in Anwendung gebracht, welche man mit hauendem oder schneidendem Arbeitszeuge versehen hat. Eine solche **Schrämmaschine** mit schneidendem Arbeitszeuge findet sich Taf. 2, Fig. 52 und 53 abgebildet.

Ihre Construction ist von einem Herrn Carrett angegeben worden, und wird die Maschine mittels hohen Wasserdrucks in Bewegung gesetzt. Es wirkt hierbei der Wasserdruck auf einen in einem Cylinder gehenden Kolben, welcher gegen das Dach der Strecke preßt und den ganzen Apparat fixirt, und horizontal auf einen zweiten Kolben von nahezu derselben Größe, an dessen Stange drei hobelartige Schneidewerkzeuge angebracht sind, sodaß beim Vorwärtsgehen des Kolbens die Schneidezeuge gegen die Kohle eindringen.

Diese Maschine arbeitet vollständig ohne Stoß, sondern nur durch einen intensiven Druck, und lassen sich die angreifenden Werkzeuge leicht auswechseln und die stumpfen wieder schärfen.

Der Hub in der Maschine beträgt 0,45 Meter, und bewegt sich der Kolben 15—20mal in der Minute vor- und rückwärts. Zur Bedienung derselben genügt ein einziger Mann.

Außer dieser besitzt man noch eine größere Zahl von Schrämmaschinen verschiedener Einrichtung, und unter andern auch solche, die sowol vertical als horizontal gleichzeitig schrämen.

An die Keilhauen-, resp. Schrämarbeit reiht sich nunmehr die **Schlägel- und Eisenarbeit** an, welche für sogenanntes schneidiges Gestein, milde Gebirgsmassen anwendbar ist. Die Einfachheit und die Leichtigkeit des Gezähes, welches hierbei ausschließlich in dem Schlägel oder Fäustel sowie dem Bergeisen besteht, macht sie in ihrer Anwendung sehr nutzbar und beruht darin, daß das Bergeisen, gewissermaßen ein Spitzkeil, auf dem Gestein aufgesetzt und mit dem Fäustel in seiner Spitze thätig und wirksam gemacht wird, und ist das **Fäustel**, welches in einem mit zwei Bahnen versehenen, 5 Pfund schweren hammerähnlichen Eisen, welches an einem kurzen Helme (Stiel) sitzt, besteht (Taf. 2, Fig. 35), nach einem Halbmesser gekrümmt, dessen Endpunkt in dem Elnbogen des Arbeiters ruht. Fig. 36 zeigt einen **Satz** oder **Riemen Bergeisen**, welche je mit einer Spitze und einer Bahn und in der Mitte mit einem Loche versehen sind, in welches ein Stiel angesteckt wird, mit welchem das Eisen auf dem Gesteine mit der einen Hand festgehalten wird.

Die Schlägel- und Eisenarbeit war vor der Einführung des Sprengpulvers und der Bohr- und Schießmethode eine sehr ausgedehnte und oft mühevolle, und sind mit ihr gewaltige Ausführungen, ganze Schächte und lange Strecken bearbeitet worden.

Jetzt bedient man sich dieser Arbeit bei festem Gesteine nur noch zum Zubrüsten, zur Herstellung von Bühnenlöchern, Widerlagern für Gewölbe u. s. w. und zum Zuführen von Räumen und Flächen.

Nahe verwandt im Principe mit der Schlägel- und Eisenarbeit ist die **Hereintreibarbeit**, welche das Gewinnen großer Massen mittels eingetriebener Keile umfaßt. Sie ist auf einen bestimmten Grad der Gewinnbarkeit nicht berechnet, und ist eigentlich an ihre Stelle das Bohren und Schießen getreten. Alle Baue

wurden vordem so betrieben, indem man zuvor schrämte, alsdann aber den nach einer Seite hin bloßgelegten Gang- oder Flötztheil unter Beihülfe von schmiedeeisernen Keilen mittels 40—50 Pfund schwerer **Treibefäustel**, Fig. 39, nach und nach hereintrieb.

Das **Bohren und Schießen**, die Hauptgewinnungsarbeit der Jetztzeit, ist es endlich gewesen, welche den Bergbau zu der bedeutenden Ausdehnung hat gelangen lassen, in welcher derselbe jetzt besteht. Sie ist die neueste aller Gewinnungsarbeiten und zu Anfang des 17. Jahrhunderts zuerst in Anwendung gebracht worden, und zwar zunächst bei dem freiberger, dann bei dem harzer Silber- und Bleibergbaue. Durch die Einführung des Bohrens und Schießens ist die ganze Führung der bergmännischen Baue eine andere und großartigere geworden, und wurde es möglich, mit ihr auch minder reichere Massen mit in den Bereich der Gewinnung zu ziehen.

Der ganze Bohr- und Schießproceß zur Sprengung des festen Gesteins beruht auf dem Abbohren einer cylinderförmigen Röhre in der zu gewinnenden oder zu durchbrechenden Masse. Diese Röhre wird zum Theil mit Sprengpulver gefüllt und sodann bis auf einen engen, zur Anzündung nöthigen Kanal verrammt, sodaß das in der Röhre befindliche Pulver bei der Entzündung genöthigt ist, seine Gewalt auf das ringsumher befindliche Gestein zu äußern.

Auf Taf. 1, Fig. 1, 2 und 5 ist die Ausübung des **Bohrens** in verschiedenen bergmännischen Bauen vor Augen geführt worden. Die hauptsächlichsten Gezähe hierbei sind der **Bohrer**, Taf. 2, Fig. 34, das **Fäustel**, Fig. 35, die **Räumnadel**, Fig. 37, und der **Stampfer**, Fig. 38. Die Bohrer, welche aus dem Kopfe und der Stange bestehen, sind entweder Meißel-, oder Kolben- und Kronenbohrer und in ihrer Stangenlänge verschieden, je nach der Tiefe der abzubohrenden Löcher, im übrigen aber aus bestem Stahl bestehend. Die kleinern Bohrer heißen die Anfänger und die größern die Abbohrer.

Das Verfahren beim Bohren, Besetzen und Schießen, welches entweder einmännisch, oder für stärkere Löcher zweimännisch sein kann, besteht nun in folgenden Manipulationen. Nachdem nämlich mittels des Eisens eine Fläche hergestellt worden ist, um den Bohrer richtig aufsetzen zu können, beginnt das eigentliche Abbohren des Lochs, welches je nach der Richtung des Lochs ein über oder unter sich Bohren sein kann. Während des Bohrens selbst wird der Bohrer fleißig zur Erzielung runder Löcher umgesetzt, und um das Bohren zu erleichtern, sowie den Bohrer vor Erhitzung zu wahren, Wasser in das Bohrloch eingeführt.

Ist nun das Bohrloch bis zu einer gewissen Tiefe, welche sich theils nach dem vorgegebenen und abzusprengenden Stücke, theils nach der Klüftigkeit des Gesteins richtet, abgebohrt, so wird dasselbe mittels Räumers und Lappens völlig gereinigt und getrocknet. Alsdann beginnt das Laden und Besetzen. Es wird hierbei das Pulver in einer Papierpatrone, oder bei nassen Löchern in einem trockenen Darm oder einer Blechbüchse in das Bohrloch eingeführt. Vorher ist gewöhnlich schon die Räumnadel (Fig. 37) in die Patrone gesteckt und mit dieser in das Bohrloch gebracht. Diese Räumnadel ist zumeist von Kupfer und geht nur bis auf die Hälfte der Patrone in das Pulver.

Das Besetzen des Bohrlochs besteht nun darin, daß man den über der Patrone befindlichen Raum des Lochs zunächst mit einem Moospfropf, dann aber mit quarzfreiem, feingeschlemmtem Lehm ausfüllt. Die ersten Zolle der Besetzung werden mittels des Stampfers, welcher von Holz oder Eisen sein kann, leicht auf die Patrone, die spätern aber immer fester und fester angetrieben, bis endlich das ganze Bohrloch gefüllt ist. Dann wird das Bohrloch an der Brüstung mit nassen Letten um die Räumnadel verstrichen, damit nichts von der Besetzung abwärts und etwa in die Patrone fallend, den Schuß versagen lasse. Die Nadel mit Talg oder Oel gut eingeschmiert, wird während des Besetzens, damit sie nicht festgeklemmt wird, öfters gedreht.

Ist die Nadel dann entfernt, so wird ein mit geschlemmtem Pulver ausgestrichenes Schilf- oder Strohröhrchen, an dessen oberer Seite ein Stückchen Schwefelfaden, das Schwefelmännchen genannt, angebracht ist, in die Spur eingeführt, und ist nunmehr das Loch zum Abbrennen vollständig hergerichtet.

Dieser Faden wird nach Maßgabe der Entfernung des Zündungsplatzes 6—9 Centimeter lang gemacht, damit der Bergmann Zeit gewinnen kann, sich vor dem Aufgehen des Schusses in Sicherheit zu bringen.

In neuerer Zeit sind die Bickford'schen Sicherheitszünder mit großem Vortheile angewendet worden, und hat man wol auch hier und da, wo es sich um das gleichzeitige Wegthun einer größern Anzahl von Löchern handelt, als Zündmittel des elektrischen Funkens sich zweckmäßig und mit gutem Erfolge bedient. Auch hat man als Ersatzmittel für das gewöhnliche Sprengpulver eine Menge andere explosible und in ihrer Sprengwirkung weit intensivere Körper in jüngster Zeit in Anwendung gebracht, und gehören unter anderm hierher der Lithofracteur, das Haloxylin, das Dynamit, das Dualin, das Ammoniakrut, die Schießbaumwolle und das Nitroglycerin, welche natürlich mehr oder weniger abweichende Besetzungsmethoden haben. Wie bei dem Schrämen hat man auch hier sehr umfassende Anwendung von **Maschinen zum Abbohren** von Bohrlöchern gemacht, so namentlich beim Durchtrieb des Mont-Cenis, und sind auf Taf. 2, Fig. 46 und 47 und Fig. 48 zwei dergleichen Maschinen skizzirt. Sehr gebräuchlich sind z. B. die Maschinen von Schumann, Lechot, Someiller, Schwartzkopf, Sachs, Bartlet, Burgleih u. s. w., und sind dieselben theils für stoßendes, theils für drehendes Bohren arrangirt.

Als Motor wird theils comprimirte Luft, theils Wasser von hohem Druck in Anwendung gebracht.

Auch hier wirkt in der Regel das Wasser oder die Luft auf einen hin- und hergehenden Kolben, an welchem der Bohrer befestigt ist, und treibt den Bohrer mit starker Pression gegen das Gestein ein. Das Umsetzen des Bohrers erfolgt gleichfalls durch einen einfachen Mechanismus von der Maschine aus und ist zur Bedienung derselben während des Bohrens selbst nur ein einziger Mann erforderlich.

Große Schwierigkeiten verursacht, da die Richtung der anzusetzenden Löcher eine sehr verschiedene ist, die Aufstellung, beziehentlich Fixirung derartiger Maschinen, und hat man hierzu oft ziemlich compendiöse Apparate in Anwendung gebracht. Auf Taf. 2, Fig. 49 und 50, sowie Fig. 51 sind zwei dergleichen gebräuchliche und einfache **Apparate zur Befestigung von Bohrmaschinen** angegeben worden. Es ist aber auch einleuchtend, daß die Benutzung von Bohrmaschinen, deren bedeutende Leistung gegenüber der des Bohrens mit der Hand nicht zu unterschätzen ist, doch nicht für alle Grubenbaue, infolge der Schwierigkeit der Aufstellung und des damit verbundenen Zeit- und Kostenaufwandes, zweckmäßig zu erzielen ist.

Schließlich sei noch der letzten der Gewinnungsarbeiten, des **Feuersetzens**, mit einigen Worten gedacht. Sie wird auch jetzt noch an vielen Orten angewendet, wo das Brennmaterial wohlfeil und die Beschaffenheit

des Gesteins derart fest ist, daß das Bohren und Schießen sich als viel zu kostspielig erweisen würde.

So hat man z. B. das Feuersetzen noch heute in Altenberg in Sachsen, zu Goslar am Rammelsberg, zu Zölsobanya in Ungarn und in einigen Orten Norwegens.

Die Wirkung des Feuers zerstört den Zusammenhang des Gesteins und zerreißt es infolge der Elasticität, welche das Wasser und andere flüchtige Substanzen, die in seinen Spalten enthalten sind, durch die Temperaturzunahme erlangen. Die durch das Feuer abgetrennten Gebirgstheile lassen sich nachher leicht, durch das Feuer mürbe gemacht, zerkleinern.

IV. Der Betrieb der bergmännischen Grubenbaue.

Liegen die abzubauenden Lagerstätten in nur geringer Teufe unter Tage, und sind sie nur von losen Gebirgsmassen bedeckt, so besteht die beste und oft einzig mögliche Gewinnungsart darin, das Hangende zu beseitigen und die Lagerstätte bloßzulegen. Man richtet sich alsdann einige Bänke oder Flötze vor und gewinnt mittels terrassenförmigen Baues die Lagerstätte nach und nach herein. Den **Tagebau** findet man am häufigsten bei Schiefer, Sandstein, Kalk, Eisensteinen und Torf, und findet beispielsweise derselbe in großartiger Ausdehnung statt auf den mächtigen Eisensteinlagern bei Kladno in Böhmen, im Ural, in Schweden, am Erzberge zu Eisenerz, sodann auf den reichen Galmei- und Bleigruben bei Scharlei, Tarnowitz in Oberschlesien, in Altenberg bei Aachen u. s. w. So einfach und natürlich der Tagebau an sich ist, so ist er doch, da nicht alle Mineralanhäufungen dicht unter der Erdoberfläche liegen, nur in vereinzelten Fällen anwendbar. In den meisten Fällen muß erst in mehr oder weniger beträchtliche Teufe vorgedrungen werden, um die Lagerstätte zu erreichen und dort deren Abbau etabliren zu können. Hier sind es nun vor allem 1) die Stollen, das sind horizontale oder nur mit wenig Ansteigen betriebene Gänge, und 2) Schächte, das sind bergmännische Baue, welche sich mit in der Hauptsache regelmäßigem Querschnitt ihrer Hauptausdehnung und Richtung nach in die Teufe erstrecken.

Die **Stollen**, welche sich beim Aufsetzen mehrerer Lagerstätten mehrfach verflügeln können, dienen sowol zur Communication für die Bergleute, als auch zur Abförderung der gewonnenen Massen und zur Ableitung der Grubenwässer. Sie sind in Thälern oder an Abhängen angesetzt und durch das sogenannte Tragwerk in zwei getrennte Räume geschieden. Der untere, die Wasserseige genannt, zur Wetter- und Wasserabführung, der obere zur Fahrung und Förderung dienend. Die Länge der Stollen ist sehr verschieden und abhängig von dem Umfange und der Ausdehnung des betriebenen Bergbaues, sie erreicht oft das Maß von vielen tausend Metern. So hat z. B. der in der freiberger Revier befindliche Tiefe Fürstenstollen mit seinen fast nach allen Grubengebäuden hingehenden Seitenflügeln eine Länge von 10000 Metern, der tiefe Marx-Semmler-Stollen in Schneeberg, einschließlich seiner Flügel eine solche von 20000 Metern. Am Rathhausberge im Salzburgischen geht der berühmte 3300 Meter lange Christophsstollen durch den ganzen Berg hindurch und dürfte ferner noch, als eine der jüngern Zeit angehörende bedeutende Stollenausführung, die Einbringung des tiefen Rothschönberger Stollens in der freiberger Revier Erwähnung finden, dessen Länge etwa 40000 Meter beträgt und der nach seiner Fertigstellung die Grund- sowie Aufschlagwasser in die Triebisch bei Meißen ableiten soll.

Die **Schächte**, welche entweder geneigt nach dem Fallen einer Lagerstätte, oder in der Lothlinie im Quergestein (Richtschächte) verteuft sein können, werden je nach ihrem Zwecke mit dem Namen Wetter-, Förder-, Zieh- oder Treibe-, Kunst-, Stangen-, Fahr- oder Tageschächte oder Lichtlöcher belegt, und treten diese Schächte mehr oder weniger combinirt zusammen auf, sodaß z. B. gewöhnlich in einem Hauptschachte sich der Förder- oder Treibe-, Kunst-, Fahr- und Wetterschacht zusammen vorfinden.

Auf Taf. 1, Fig. 7 ist ein solcher **Hauptschacht** in Verbindung mit einem Stollen und einer sogenannten Gezeugstrecke zur Darstellung gebracht, und enthält die eine Abtheilung desselben den Kunstschacht mit den Pumpenwerken, eine zweite die Fahrung, und die dritte Abtheilung die beiden Fördertrümer (Förderschächte). Auf der obersten Strecke, dem Stollen, gießen die Pumpen, bewegt von einer über Tage stehenden Dampfwasserhebungsmaschine, die aus dem Schachttiefsten herausgehobenen Grundwasser aus. Auf Taf. 2, Fig. 1 ist ein **Grundriß** über einen Theil eines **Erzbergwerks**, wie solches sich aus den verschiedenen Stollen, Strecken, Schächten, Gängen und Abbauen zusammensetzt, wiedergegeben, und sind hier die in verschiedenen Teufen untereinanderliegenden, auf Erzgänge betriebenen Stollen und Gezeugstrecken in ihrer Zusammengehörigkeit der leichtern Veranschaulichung halber verschieden markirt worden.

Stollen und Schächte sind, wenn sie zur Auf- oder Untersuchung einer Lagerstätte dienen, bloße Versuchsbaue, in allen andern Fällen aber Hülfsbaue. Verschieden nun von ihnen sind die **Abbaue** oder Verhaue.

Sie sind die eigentliche Seele des Bergbaues, da sie speciell die Gewinnung der nutzbaren Mineralkörper zum Zwecke haben. Die Art der Abbaue ist eine sehr mannichfaltige und beeinflußt und bestimmt nach gewissen Formen von verschiedenen Verhältnissen, wohin gehören: 1) Gestalt und Form der Lagerstätte, ob gang-, platten- oder stockförmig u. s. w.; 2) die Form der bauwürdigen Mittel in ihr; 3) die Lage der Lagerstätte gegen die Oberfläche; 4) das Fallen derselben, ob saiger, flach oder söhlig; 5) die Vertheilung der gewinnbaren Masse (bauwürdige Mittel) in der Lagerstätte; 6) die Größe dieser Mittel sowie die Mächtigkeit der gesammten Lagerstätte; 7) die Gesteinsfestigkeit; 8) die Wasser- und Wetternöthigkeit u. s. w.

Der Leser wird hiernach wol einsehen, daß die Art der Abbaumethoden je nach Combination der verschiedenen und möglichen Verhältnisse eine sehr reichhaltige sein muß und daß hier der Kürze des Raums halber nur die hauptsächlichsten Abbaumethoden zum Abriß gelangen können.

Zu ihnen gehören der Strossenbau, der Förstenbau, der Querbau, Diagonalbau, Pfeilerbau, Strebebau, Stoßbau, Kammerbau u. s. w., und sind die erstern drei auf Gängen, die übrigen aber auf Lagern und Flötzen anwendbar.

Der **Strossenbau** oder **Sohlenbau**, Taf. 2, Fig. 54, charakterisirt sich als stufen- oder treppenartiger Abbau von einer Abbaustrecke zu einer andern, und zwar von oben nach unten, und werden die einzelnen Stufen mit dem Namen Strossen belegt. Die neben den Erzen und Pochgängen fallenden tauben Mittel (werthlose Steine oder Berge genannt) werden hierbei zur Ausfüllung und Unterstützung des mit dem Vorwärts-

schreiten des Abbaues entstehenden hohlen Raums nach rückwärts geschüttet, und zwar auf sogenannte Kasten, welche über den Köpfen der Arbeiter angebracht sind und darin bestehen, daß zwischen dem Hangenden und Liegenden der Lagerstätte Hölzer gelegt und mit Stangen abgedeckt werden. Der Strossenbau wird hierbei um so schwieriger, je mächtiger der Gang auftritt infolge der entstehenden größern Weite, und ist an sich durch den Bedarf an Holz zumeist sehr kostspieliger Natur, verbunden mit dem weitern Misstande, daß vor Erreichung der untern Abbaustrecke etwa auftretende Grundwasser besonders herausgehoben werden müssen.

Viel einfacher und billiger gestaltet sich nun der Förstenbau, welcher darin besteht, daß das mit einer Strecke aufgeschlossene Erzmittel von unten nach oben angegriffen und ausgehauen wird, im übrigen aber sich, wie Fig. 55 auf Taf. 2 sowie Fig. 2 auf Taf. 1 zeigt, ebenfalls als ein treppenartiger Abbau, aber von der Kehrseite gestaltet. Die einzelnen Staffeln werden hier Förstenstöße genannt. Das Verfahren ist dabei, mit einem Ueberhauen von der Strecke aus vorauszugehen und dann von diesem aus die Förstenstöße, deren Höhe zur Länge sich zweckmäßig wie 2 : 3 verhalten soll, nachzuhauen, und wird der durch den Aushieb entstehende Raum mit Bergwänden, welche bei der Gewinnung fallen, versetzt, welche auf einem Kasten, der, sobald der Förstenbau ein Stück über die Strecke hinausgedrückt ist, in der Förste derselben geschlagen ist, stufenförmig aufgebaut werden.

Da die Förderung der gewonnenen Massen aus dem Baue von oben nach unten erfolgt, so mauert oder zimmert man sogenannte Rollschächte in angemessenen Entfernungen voneinander auf und zieht dieselben im Verhältniß der Höhe, welche der Bau erreicht, successive mit fort. Eine Art von Förstenbau, der Förstenverhau, welchen man hier und da auf steil aufgerichteten Kohlenflötzen in Anwendung gebracht hat, der aber der Brüchigkeit der Kohlen halber viel Holz beansprucht, ist aus Fig. 56, Taf. 2, zu ersehen.

Beim Querbau, welcher auf sehr mächtigen Gängen Anwendung findet, wird zuerst auf dem Liegenden des Ganges eine Strecke getrieben, welche mit dem Förderschachte ebenfalls in Verbindung steht, die Förderstrecke. Von dieser aus baut man rechtwinkelig nach dem Hangenden zu in ganz analoger Weise wie bei dem Försten- oder Strossenbau ab, nur mit dem Unterschiede, daß man die Strossen oder Stöße der Quere treibt und baut ferner die Massen in Etagen von 2—3 Meter Höhe nach und nach ab. Im übrigen ähnelt der Verticalschnitt eines Förstenbaues, Fig. 55, dem Horizontaldurchschnitt eines Querbaues.

Der Strebebau, Taf. 2, Fig. 57, welcher in der Regel nur auf wenig geneigten Lagern und Flötzen von geringer Mächtigkeit angewendet wird, wie z. B. auf den Kupferschieferflötzen im Mansfeldischen oder an vielen Orten auf Steinkohlen, richtet ebenso liegende Strossen her wie der Querbau und wird deshalb auch Stoßbau in vielen Fällen genannt. Um den Schacht herum wird ein Füllort geschlagen, die Schachtscheibe, und von hier aus die schwebende Strecke nachgerissen, der Abbaustoß wird schräg und unten voraus gehalten, damit die Wasser nicht dem eigentlichen Streb nachlaufen.

Von der Schachtseite aus können nun nach rechts und links Baue angelegt werden, und spricht man in diesem Falle von ein- oder zweiflügeligen Bauen. Die Diagonalfahrten haben Strebhöhe und werden aller 100 Meter schwebende oder aufsteigende Strecken nachgerissen. Die fallenden Bergmassen werden ebenfalls nach rückwärts versetzt, welcher Versatz mit dem Abbaue, wobei man indessen die diagonalen Strebfahrten zur Förderung ausspart, regulär fortschreitet, oder es wird in Ermangelung von hinreichenden Bergmassen das Dachgestein mit Bolzen unterstützt.

Der Diagonalbau, Taf. 2, Fig. 61 und 62, ist ebenfalls nur auf minder mächtige Flötze anzuwenden, und werden bei ihm in Entfernungen von 180 Metern Schächte, und zwischen je zweien dieser Schächte noch ein Streb getrieben. Der Abbau selbst erfolgt nun von den Schächten aus, und zwar mittels diagonaler Strecken, und werden zur Sicherung des Dachgesteins Sicherheitspfeiler aufgemauert.

Bei mächtigen Flötzen, das heißt Flötzen von über 2 Meter Stärke, kommt der Pfeilerbau in Anwendung und kennzeichnet sich derselbe dadurch, daß man hier zunächst eine Grundstrecke im Streichen des Flötzes treibt und 4—10 Meter unter derselben zum Ansammeln der Grubenwasser die Sumpfstrecke parallel zur erstern anlegt, alsdann längt man von ersterer steigende Strecken, Bremsberge oder Diagonalen aus, die bis zu einer höher gelegenen Strecke durchgeführt werden, und beginnt nunmehr an den äußersten Enden, nachdem das Flötz in eine Menge von Abbaupfeilern eingetheilt worden ist, den eigentlichen Abbau, läßt sodann zur Unterstützung des Hangenden oder Dachgesteins regelmäßig Pfeiler stehen, welche aber schließlich, wenn die Natur des Gebirgs ein gleichmäßiges und langsames Niedergehen garantirt, auch noch von hinten nach vorn u, unter Beobachtung verschiedener Sicherheitsvorkehrungen, gewonnen werden.

Um den Hauptschacht selbst, welcher auf der Grundstrecke steht, läßt man eine größere Masse von Kohlen den Sicherheitspfeiler anstehen, damit bei eintretendem Bruche der Schacht nicht gefährdet ist. Der Pfeilerbau an sich ist je nach dem Fallen des Flötzes sowie dessen Lagerung mannichfachen Modificationen ausgesetzt, und unterscheidet man den reinen und den unreinen Pfeilerbau. Auf Taf. 2, Fig. 59 und 60 ist eine Art Pfeilerbau, wie solcher auf den Kohlengruben von Saarbrücken gebräuchlich ist, skizzirt. Zu dem unreinen Pfeilerbau gehört beispielsweise der Kammer- und der Schachbretbau, Fig. 63, welcher auf dem mächtigen Steinsalzlager von Staßfurt verführt wird.

Eine andere Art von Abbau, und zwar auf großen Erznieren und Salzstöcken zu bauen, ist der Stockwerksbau und der Weitungsbau, und letzterer am großartigsten auf Steinsalz in Ungarn, Siebenbürgen und Galizien ausgebildet. So wird das berühmte Salzlager von Wieliczka, welches eine Länge von 3300, eine Breite von 1200, und eine Mächtigkeit von 400 Metern hat, in sieben Etagen bebaut, und besteht eine jede derselben aus einer Menge labyrinthartiger großer Weitungen und Corridore u. s. w.

Schließlich sei noch hier der sogenannten Sinkwerke, Taf. 2, Fig. 64, gedacht, welche aus künstlich hergestellten Räumen in mit Salz imprägnirten Gebirgen, die mit Wasser gefüllt und auf diese Weise ausgelaugt werden, bestehen. Es basiren daher die Sinkwerke auf der Gewinnung gesättigter Salzsole mittels hohler Räume.

Die hierzu benöthigten Wasser, wenn sie im Gebirge nicht selbst auftreten, werden durch flache Schächte, die Ankehrschürfe genannt, oder durch saigere Schächte, „Butten", zugeleitet, und läßt man die gesättigte Sole entweder durch Ablaßrohre zum Stollen C hinaus, oder man schöpft oder pumpt sie heraus. Man unterscheidet Ebenwehre B, und Büttenwehre A, oder spricht von liegenden und stehenden Wehren, die

[illegible] Abfluß des [illegible] Die [illegible] im [illegible] Holzkammerung [illegible] im Salzbergwerken [illegible] befinden sich [illegible] zu Reichenhall [illegible] in einer Länge von [illegible] Stunden über Reichenhall nach Rosenheim zum Verfieden geleitet wird.

7. Der Grubenausbau.

Nur in seltenen Fällen ist die Beschaffenheit des Gesteins eine derartige, daß die in demselben verführten Baue ohne [illegible] oder Ausbau bestehen können. In den meisten Fällen ist dasselbe mild, gebräch, zerklüftet, und es würde ein Zubruchegehen der Baue und [illegible] und somit eine große Gefährdung der Arbeiter zur Folge haben, würden die verschiedenen Baue nicht [illegible] durch Bergversatz, Zimmerung oder Mauerung [illegible] und verwahrt. In allen Fällen ist sowol [illegible] als auch die Richtung und die [illegible] sowie auch die Beschaffenheit des Gesteins bei Anlage von Zimmerung oder Mauerung in Betracht zu ziehen, und fragt es sich [illegible] auf dem Gesteine gut abzulagern [illegible] ist, daß er in sich [illegible] aufnimmt, sich selbst das Gleichgewicht hält.

Was nun zunächst die Zimmerung anlangt, so unterscheidet man, je nachdem jedes einzeln gestellte Holz für sich allein oder in Vereinigung mehrerer wirkt, einfache und zusammengesetzte oder fortlaufende Zimmerung, und nach der Zeit oder Ausführung des Einbaues: 1) solche, welche mit der Herstellung des freien Raumes fortgeht, z. B. die Abtreibezimmerung, 2) solche, die nur zur Verwahrung dient, und 3) solche, welche zur Fahrung, Förderung und Wasserhaltung nöthig ist.

Endlich theilt sich die Zimmerung je nach dem Raume ein in Strecken-, Schachtbau- und Maschinenraumzimmerung.

Die Streckenzimmerung, Taf. 3, Fig. 3—6, welche einfach wie zusammengesetzt sein kann, beruht in dem Legen von Stempeln und dem Setzen von Bolzen, und heißt ein Holz, welches zwischen dem Hangenden und Liegenden eingelegt ist und einen Druck rechtwinkelig gegen seine Länge aufzunehmen hat, ein Stempel, und ein Holz, welches als Säule wirkt, das heißt den Druck in der Richtung seiner Länge aufnimmt, ein Bolzen. Beim Legen eines Stempels wird, nachdem man im Liegenden ein Bühnenloch, und im Hangenden rechtwinkelig zum Liegenden eine [illegible] hergerichtet hat, der Stempel in das Bühnenloch eingesetzt und der Stempel an seinem andern Ende, welches etwas [illegible], der Anfall genannt, [illegible] mittels Aufschlags gegen das Hangende angetrieben. In der fortlaufenden Streckenzimmerung gebraucht man die [illegible] oder [illegible], welcher darin besteht, daß man zur Abfangung des von der [illegible] der Strecke hereinbrechenden Gesteins eine Reihe von Stempeln legt und diese mit Schwarten, Pfosten oder Stangen abdeckt, verschalt und gut mit Bergen hinterfüttert. Ganz ähnlich ist die Kastenzimmerung, die indeß nur unter Abbau vorkommt und den Bergeversatz zu tragen hat, daher auch auf größere Last beim Kasten zu rechnen und dieser in den Hölzern stärker anzulegen ist.

Für weite Strecken wendet man wol auch die Sparrenzimmerung oder auch den gewöhnlichen Förstenverzug in Verbindung mit [illegible] und Bolzen an. Die [illegible] wendet man nur in der [illegible] an, wo das ganze Dach [illegible], wenn man in [illegible] Meter [illegible] an der Förste hin[illegible] und [illegible] Bolzen unterlegt und stützt. [illegible], werden sogar ganze Kästen und [illegible] von Holz oder Holzschragen aufgeführt.

Gilt es zwei Flächen einer Strecke, also die Förste und eine der Ulmen zu verwahren, so wendet man zur Unterstützung den Thürstock an, eine Verbindung von zwei Hölzern, Fig. 3, bei welchem der eigentliche Thürstock und die Kappe zu unterscheiden ist. Dies ist die einfache Thürstockzimmerung, und die untergeordnetere, während die doppelte, Fig. 4—6, sich aus zwei Thürstockhölzern und der Kappe completirt.

Sowol die Kappen als Thürstockhölzer werden nach Befinden verschalt und wie jede andere Zimmerung mit Bergen gut hinterfüttert.

Der Ausführungen der Thürstockzimmerung gibt es so mancher Art, deren Grund zumeist in localen Verhältnissen zu suchen ist. So kann z. B., wenn die Sohle zur Aufstellung von Thürstöcken nicht fest genug ist oder gar aufquillt, sich die Legung von Grundsohlen aus Halbholz, auf welche die Thürstöcke zu stellen sind, nöthig machen u. s. w. Zu der Streckenzimmerung, die mit dem freien Raume fortgeht, gehört die Abtreibe-, die Getriebezimmerung, Fig. 7. Dieselbe ist eine Zimmerung, die aus lauter einzelnen zusammenhängenden und unter sich gleichen Abtheilungen besteht. Eine solche Abtheilung heißt ein Getriebe, und die Arbeit das Abfangen, und wird diese Art von Zimmerung unter oft sehr schwierigen Umständen beim Durchfahren von zu Bruch gegangenen Bauen, rolligen Massen oder schwimmenden Gebirgen angewendet. Man hat unter Umständen bloße Förstengetriebe, auch wenn das Hangende und Liegende feststeht, dann aber in vorher angeführten Fällen ganze Streckengetriebe. Das Verfahren bei einem Getriebe ist nun folgendes.

Es wird zunächst ein Stempel, Anstecker genannt, vor dem Stoße, wo das Abtreiben seinen Anfang nehmen soll, gelegt, über denselben sodann mit etwas Ansteigen gut gesäumte, vorn zugespitzte Schwartenpfähle bis etwa 1 Meter Länge vor den Bruch hineingetrieben, sodann ein zweiter Stempel, der Helfer genannt, gelegt und hierauf die Pfähle auf ihre ganze Länge eingetrieben. Alsdann wird die Pfändung, d. i. ein schwächeres Holz gelegt, und darunter der Anstecker zum zweiten Getriebe und so fort.

Das Abtreiben mit ganzen Streckengetrieben ist ganz analog dem Förstengetriebe, und im ganzen nichts weiter als eine Thürstockzimmerung, wobei jeder Helfer höher als der Anstecker ist.

In schwimmendem Gebirge, wo die Sohle ebenfalls schlecht, ist auch das Ort allemal wieder zu verwahren, und zwar mit dichtschließenden Pfosten und Zumachbretern, und sind die Thürstöcke hier auf Grund- oder Sohlschwellen aufzustellen.

Die Schachtzimmerung, welche entweder in der Verwahrung fortlaufender Flächen, in dem sogenannten Stoßverziehen, welches ebenso wie das Förstenverziehen ausgeübt wird, oder auch in der Verwahrung aller vier Stöße durch die Joch- oder Gevierzimmerung bestehen kann, stellt sich gegen die Streckenzimmerung verschieden heraus, denn während bei letzterer alles für sich auf der Sohle steht, ist bei der Schachtzimmerung aller Druck in der Zimmerung selbst aufzunehmen, und muß dieselbe von unten und in gewissen Absätzen auf soge-

nannten Tragestempeln, welche in der Regel rechtwinkelig zu den langen Schachtstößen gelegt zu werden pflegen, aufgelagert werden. Ist der Schacht in allen vier Stößen zu verwahren, so kann die Zimmerung, je nach der Brüchigkeit oder Flüchtigkeit des Gesteins, in ganzem oder halbem Schrote, Taf. 3, Fig. 1 und 2, bestehen, und heißt man den Schrot ganz, wenn Geviere an Geviere sich reiht, und halb, wenn diese Geviere in gewissen Entfernungen sich befinden, und spricht man hierbei von Bolzenschrot, wenn diese einzelnen Geviere durch Bolzen in den Schachtwinkeln gegeneinander abgesteift sind, und werden auch hier die einzelnen Geviere mit Schwarten verschossen und hinterfüttert.

Um innerhalb der einzelnen Schrotgeviere noch eine feste Verbindung zu haben und einem Verdrehen des Schachtes besser begegnen zu können, werden sowol bei den Schächten mit ganzer als auch halber Schrotzimmerung in den Winkeln lange vierkantige Bäume, die Wandruthen genannt, eingestellt und diese untereinander wieder durch Einstrichhölzer abgesteift. Ebenso wie man Schächte von viereckigem Querschnitt auszimmert, werden sechs-, achteckige und runde Schächte in Jochzimmerung gestellt, und ist eine für runde Schächte beliebte Zimmerung, die **Reifenzimmerung**, ganz analog den Felgen eines Rades hergestellt, und kommen bei allen diesen Auszimmerungen die Wandruthen gleichfalls in Anwendung.

Da nicht selten und namentlich beim Flötzbergbaue, sehr wasserreiches und infolge dessen sehr druckhaftes Gebirge mit einem Schachte zu durchteufen ist, so ist die Zimmerung, damit der Schacht infolge von Auswaschungen durch das Wasser nicht gefährdet und das Leben von Hunderten braver Knappen nicht aufs Spiel gesetzt werde, als eine völlig wasserdichte herzustellen. Das Verfahren hierbei ist in der Hauptsache folgendes.

Man verteuft den Schacht bis auf eine wasserdichte Schicht, erweitert den Schacht in derselben in angemessener Weise und stellt sich in ihr eine glatte Sohle her. Auf diese wird sodann ein dicht anschließendes starkes Joch von Eichenholz, das Keiljoch genannt, aufgelegt und solches mit Pfosten und Moos hinterfüttert und durch Keile verbeizt, und werden alsdann auf das Keiljoch die schwächern Aufsatz- oder Dammjöcher bis zu der Höhe, zu welcher das Wasser aufstaut, aufgeführt und diese entweder fest mit Letten oder Lehm hinterrammt, oder auch mit Cement oder Beton hinterfüttert, und sind des wasserdichtern Abschlusses halber zwischen den einzelnen Jöchern Streifen von getheerter Leinwand oder Hanf eingelegt.

Die Gesammtheit dieser Jöcher zum Behufe des wasserdichten Ausbaues wird mit dem Namen Cuvelage oder Cüvelirung bezeichnet.

Der wasserdichte Ausbau von Schächten ist am ausgedehntesten entwickelt in Belgien und im nördlichen Frankreich beim Durchteufen wasserreicher Kreideschichten, und ist von dort auch nach andern Gegenden, z. B. nach dem Mansfeldischen, Sachsen u. s. w. übertragen worden. Ebenso wie in Holz führt man diese Cuvelage, und zwar zumeist für **runde Schächte** in Gußeisen, Taf. 3, Fig. 14, aus, indem man die einzelnen Trage- und Aufsetzkränze in Segmenten herstellt und diese unter sich unter Anwendung von Dichtungsmitteln verschraubt. Die gußeiserne Cuvelage wird ebenfalls wie die Zimmerung nach Maßgabe der wassertragenden Schichten absatzweise eingebracht und besteht ebenso wie die hölzerne Zimmerung in Trage- oder Keilkränzen, welche als Fundament dienen, und in den Aufsatzkränzen.

Hat man schließlich Schächte durch rollige Massen, Brüche oder auch in schwimmendem Gebirge niederzubringen, so hat man hierfür die **Abtreibe-** oder die **Senkzimmerung**, und besteht erstere, analog wie die Streckengetriebezimmerung, aus lauter einzelnen unter sich gleichen zusammenhängenden Abtheilungen und zerfällt in das Ansteckgeviere nebst Pfändung, die Helfergeviere und die Ansteckpfähle, letztere dagegen in einer bereits fertig hergestellten Zimmerung, die im ganzen, ähnlich wie die Bohrröhre im Bohrschachte, in den Schacht eingehangen wird. Während die Abtreibezimmerung ausschließlich nur für Schächte von rechteckigem Querschnitt anzuwenden ist, findet man die Senkzimmerung namentlich für kreisförmigen, sonst aber auch für jeden andern Querschnitt gebräuchlich und vielfach mit Eisenconstruction in Verbindung gebracht.

Als eine zweite Hauptunterstützungsart für jeden beliebigen Grubenraum ist nun endlich die **Mauerung** zu bezeichnen, eine Unterstützungsweise, welche an sich zwar sehr einfach erscheint, in ihrer Anwendung aber trotz der bei weitem größern Dauerhaftigkeit beim Bergbau noch gar nicht sehr alt ist.

Erst im 16. Jahrhundert sehen wir dieselbe, und zwar zuerst in Schneeberg, dann in Freiberg, aber auch nur untergeordnet, ins Leben treten, und zwar untergeordnet, weil eben das Holz im Ueberfluß vorhanden, daher billig war, zudem sich leicht bearbeiten ließ, während Steine in der Gewinnung und Behandlung zu theuer ausfielen und es an Mörtel fehlte. Bei der jetzigen großartigen Ausdehnung und Vielseitigkeit des Bergbaues wird natürlich von der Mauerung in umfassendster Weise Gebrauch gemacht, zumal man in den Back- oder Ziegelsteinen ein billiges, leicht zu verarbeitendes und ganz besonders bei wasserdichter Mauerung verwendbares Material gefunden hat.

Dem Material nach unterscheidet man Mauerung von Bruchsteinen und von Ziegelsteinen, und werden Bruchsteine sowol trocken ohne Bindemittel, wie bei der Rollenmauer, als auch naß, das heißt mit Luft- oder hydraulischem Mörtel, künstliche Steine dagegen wie die Ziegel nur naß vermauert.

Hinsichtlich der Art der Mauerung unterscheidet man die **Scheibenmauer**, bei welcher die Steine parallel übereinanderliegen, und die **Gewölbe**, bei welchen die Steine nach bestimmten krummen Linien aneinander, mit in der Richtung des Krümmungsradius liegenden Fugen stehen, und welche sich selbst sowie eine darüber befindliche Last zu tragen vermögen.

Bei der Scheibenmauer benennt man die Sohle Fuß, die dem Beschauer zugekehrte Fläche Stirn, die abgekehrte Rücken, und unterscheidet, je nachdem die Stirn gerade oder gewölbt ist, die geradstirnige oder krummstirnige Scheibenmauer. In beiden Fällen widersteht sie vorzugsweise einem lothrechten Drucke von oben mittels der rückwirkenden Festigkeit, entspricht also hierin dem Bolzen und leistet nur Widerstand mit ihrem Gewichte gegen einen Druck von der Seite.

Die Gewölbe dagegen besitzen die Fähigkeit einen Raum zu überspannen, eine Last aufzunehmen und einen Druck rechtwinkelig zur Sohle gegen die Widerlager abzuladen, und entsprechen somit dem Stempel der Zimmerung. Die Flächen, auf welchen die Füße eines Gewölbes ruhen, heißen die Widerlager, die äußere Umfläche des Gewölbes der Rücken, und die innere Umfläche der Busen, die lichte Weite zwischen den Füßen des Gewölbes die Spannweite, und die Spannung desselben das Verhältniß der Höhe zur Weite. Je nach der Lage der Achse des Gewölbes hat man stehende, liegende und Tonnen- oder Kellerhalsgewölbe, und benennt Theile eines Gewölbes von ge-

ringer Länge Bogen, wohin die Spann-, Trag- und Erdbogen gehören.

Der Ausbau mittels Mauerung bezieht sich nun auf alle Grubenräume, und vornehmlich zur Sicherstellung der Strecken, Schächte und Maschinenräume, und können unter Umständen sehr kostbare und compendiöse Mauerungen auftreten. Sie alle setzen sich mehr oder weniger zusammen aus Pfeilern, gerader oder krummstirniger Scheibenmauer, Bogen und Gewölben, je nachdem es sich um die Sicherung eines isolirten oder fortlaufenden Drucks von oben oder unten, ferner um Verwahrung des Hangenden, Liegenden oder der Förste oder sonst eines seitlichen Drucks handelt, endlich aber der Zweck einer Aufsattelung von Mauer u. s. w. zu erfüllen ist. Auf Taf. 3, Fig. 10—13, sind beispielsweise einige Streckenmauerungen, in Fig. 8 und 9 eine Schachtmauerung und in Fig. 19 und 20 eine Radstubenmauer zur Darstellung gelangt.

Die wasserdichte Schachtmauerung endlich wird wie die Cuvelage in Holz oder Gußeisen überwiegend so angewendet, daß man vom wassertragenden Gebirge weg in die Höhe aufmauert, also die ganze Teufe des abzudämmenden Gebirgs zuvor in großen Dimensionen und mit verlorener Zimmerung durchsinkt.

Gegenüber dem wasserdichten Ausbau von Holz und Eisen hat die Mauerung den großen Nachtheil, daß, da ein Verkeilen der Fugen nicht möglich ist, ein fehlerhaftes Aufmauern von Haus aus nicht mehr wieder gut gemacht werden kann, dagegen aber im Gelingungsfalle den Vorzug der unerschütterlichen Dauerhaftigkeit.

VI. Die Förderung der gewonnenen Massen.

Die Förderung der gewonnenen Massen bis zu Tage aus bildet für den Bergmann einen der wichtigsten Abschnitte, und ist es daher wol nicht zu verwundern, wenn in den letzten Jahrzehnten, seit der Kohlenbergbau seine heutige volkswirthschaftliche Bedeutung erlangt hat, gerade bei diesem die größten Fortschritte in der Grubenförderung gemacht worden sind und dieser von den Fachleuten die größte Aufmerksamkeit zugewendet worden ist. Der Steinkohlenbergbau hatte aber auch hierzu die dringendste Veranlassung, da bei der kolossalen Massenproduction das größte Hauptwerk mit einem dem Gewichte nach verhältnißmäßig geringen Werthe fortzubewegen ist. Den allgemeinen Grundsatz festhaltend, nicht mehr Massen zu Tage auszufördern als unbedingt nothwendig ist, wird schon in der Grube, in den Verhauen eine Trennung des Haltigen vom Unhaltigen oder Tauben vorgenommen und muß ein öfteres Umfüllen sowie jede Zwischenförderung, sobald sie nicht unbedingt erforderlich ist, vermieden werden, da solches nur Geld und Zeit erfordert, bei Kohlen die Qualität verschlechtert und bei reichen Erzen eine Verzettelung desselben unvermeidlich zur Folge haben wird.

Man hat zu unterscheiden die Grubenförderung, das ist die Förderung der Massen aus den Bauen und auf den Communicationsstrecken nach dem Schachte, sowie die Schachtförderung, d. i. die Ausförderung der vorgelaufenen Massen bis zu Tage aus. Bei der Grubenförderung kommt zunächst das Zusammensäubern und das Einfüllen der Massen mittels Kratze und Trog in die Fördergeräthe in Betracht. Auf ganz unregelmäßigen und kurzen Strecken erfolgt die Streckenförderung auf dem Rücken, auf einigen geneigten Bahnen auf Schlitten und Laufkarren, bei hinreichend langen und regelmäßigen Strecken aber auf hölzernen Gestängen und gußeisernen oder gewalzten Schienen mittels sogenannter Hunde oder Wagen. Das Tragen auf dem Rücken ist eine sehr unvollkommene Förderungsmethode und dient wol nur noch als eine Zwischenförderung in den Verhauen des Flötzbergbaues, und auch da nur in niedrigen und engen Räumen, sowie bei unregelmäßiger Sohle, wo künstliche Füllvorrichtungen sich nicht anbringen lassen. Eine weitere, nicht minder beschwerliche Förderung ist die mittels Schlepptrogs, indem der Arbeiter das Sielzeug sich um die Brust oder über beide Schultern legt und den Trog, welcher je nach der Oertlichkeit bis mit 6 Centnern belastet wird, gestützt auf einen Stock, vorwärts zieht, und werden diese Fördergefäße meist in Steinkohlenabbauen gebraucht, um die Massen zu den eigentlichen Förderstellen zu bringen, wie in Frankreich, Belgien und beim saarbrückener Steinkohlenbergbau. Die Förderung mit dem Laufkarren wird auf ebenen und nur wenig geneigten Strecken, oft auf ziemliche Längen angewendet, und wird der Karren entweder direct auf der Sohle oder auf Pfosten gelaufen. Bei großen Entfernungen endlich wird der sogenannte ungarische Hund, ein auf drei Rädern sitzender prismatischer Kasten, ebenfalls auf Pfosten fortbewegt (gestoßen), angewendet, und bedient man sich in den meisten Fällen aber, wo es sich um die Fortbewegung großer Massen, zumal auf bedeutende Entfernungen handelt, wol ausschließlich größerer Förderwagen, die auf mit Spurkränzen versehenen Rädern auf Eisenbahnschienen gestoßen, oder auch, wie es auf vielen Gruben jetzt eingeführt ist, zu einem ganzen Zug rangirt von Pferden und auch von Maschinen gezogen werden. In großartigster Weise geschieht die Förderung durch Pferde in den bekannten französischen Werken von Creuzot, und so noch an vielen Orten, wie Wieliczka, in England u. s. w. Auf Taf. 3, Fig. 15 sind einige der Fördergefäße, wie Trog, Karren, Körbe, Kübel, Tonne, ungarischer Hund und Eisenbahnwagen abgebildet worden.

Das Zufördern aus den Abbauen nach den Hauptförderstrecken erfolgt nun entweder durch Bremsberge, d. h. schiefe Ebenen, auf denen die gefüllten Förderwagen bergab rollen und die leeren bergan ziehen, oder durch Rollen, Rollschächte, wie beim Erzbergbaue, welche, wie schon früher erwähnt, gleichzeitig mit dem Vorwärtsschreiten des Aushiebes nachgezogen und von Bergwänden aufgemauert werden. Die Bremsberge kommen ausschließlich beim Flötzbergbaue vor und sind in der Lagerstätte selbst angelegt, treten aber auch im Gestein auf, sobald man hierdurch eine Abkürzung der Förderwege erzielt oder es sonst die Lagerung des Flötzes erheischt. Die Bremsberge sind oft stark geneigt, treten wol auch saiger als Bremsschächte auf, während das Minimum der Neigung abhängig ist von der Höhe, von der Reibung der Bremsmaschine, von der Größe der Last und der Beschaffenheit der Förderbahn. Die Bremsberge, in welchen die Zuförderstrecken einmünden, sind oft sehr lang, und werden z. B. in England häufig Züge von 20 und mehr Wagen gleichzeitig abgelassen. Die Bremsvorrichtung zur Mäßigung der Bewegung besteht gewöhnlich in einem einfachen oder doppelten Bremsbacken, welcher gegen eine auf der Seilkorbwelle sitzende Bremsscheibe von Holz oder Gußeisen gedrückt wird.

Die Einrichtungen zur Schachtförderung sind verschieden für saigere und für flache Schächte und ferner bedingt durch die Größe des Förderquantums, die Förderteufe und die erforderliche Geschwindigkeit. Nach Art der bewegenden Kraft hat man Förderung mittels des gemeinen Berghaspels, Taf. 3, Fig. 16,

oder Vorlegehaspels, Fig. 17, unter Anwendung von Menschenkraft und Förderung mittels der Göpel, welche betrieben werden durch Thiere, als Pferdegöpel, Fig. 18, durch Wasser, als Kehrradgöpel, Fig. 19 und 20, Turbinen- oder Wassersäulengöpel, und endlich durch Dampf, als Dampfgöpel, Fig. 21. Hinsichtlich der Verbindung mit der Streckenförderung charakterisirt sich dieselbe in solche, bei welcher die unter Tage benutzten Fördergefäße entweder direct oder auf besondern Gestellen, Förderschalen, zu Tage ausgetrieben werden und in solche, bei welcher das unter Tage benutzte Fördergefäß in besondere Schachtfördergefäße, Tonnen genannt, entleert wird, und wird dieser Ort, wo dies geschieht, das Füllort, Taf. 1, Fig. 3, und die Arbeit des Umfüllens das Anschlagen genannt. Das Füllort ist ein im Schachte liegender erweiterter Raum, von dessen Sohle nieder im Hangenden des Schachtes des gleichmäßigern und kürzern Anschlagens halber gewöhnlich noch separate Treiberollen, in welchen die zugeförderten Massen gestürzt und von diesen aus in die Tonnen gefüllt werden, hergestellt sind.

Die Haspelförderung ist die älteste Methode der Schachtförderung und tritt jetzt nur noch in der Grube bei der Zwischenförderung auf. Die Schächte heißen alsdann Zieh- oder Haspelschächte. Der gewöhnliche Hornhaspel besteht aus dem Rundbaume, den beiden Hörnern und den Haspelstützen, und werden als Fördergefäße der Kübel auch wol kleine Tonnen in Anwendung gebracht.

Bei allen Göpeln nun treten besondere Seilkörbe, welche bei jeder Art des Göpels seitwärts vom Schachte liegen und vom Motor aus bewegt werden, auf, und müssen daher zur Ueberführung des Seils nach dem Schachte in entsprechender Höhe über der Hängebank, das ist die Schachtöffnung, besondere Seilscheiben angebracht werden.

Allen Göpeln ist ferner gemeinsam, daß die Förderabtheilungen im Schachte mit bestimmten Leitungsvorrichtungen für die Fördergefäße versehen sein müssen, die je nach dem Querschnitte des Schachts, je nach der Art der Förderung selbst, sowie je nach der Einrichtung der Fördergefäße, beziehentlich der Fördergestelle, eine sehr verschiedene sein kann.

Wie aus Fig. 7 auf Taf. 1 ersichtlich ist, werden in gleichen Abständen untereinander zur Begrenzung des Förderschachtes nach rechts und links Hölzer, Einstriche genannt, quer zwischen die langen Schachtstöße gelegt und inmitten zwischen je zweien dieser Einstriche ein dritter, der Schachtscheider genannt, wodurch der Förderschacht in zwei gleiche Abtheilungen getrennt wird.

An diesen Hölzern nun werden die verschiedenartigen, zur Geradführung der Fördergefäße sich erforderlich machenden Leitungsvorrichtungen angebracht, und können dieselben entweder in den Schachtwinkeln oder in der Mitte der Schachthölzer angebracht werden.

Die einfachste und gebräuchlichste ist die letztere, und kann dieselbe in einer einfachen, resp. doppelten Streichbaumleitung bestehen.

In tonnlägigen, flachen Schächten stehen die Einstriche rechtwinkelig vom Liegenden zum Hangenden, und sind quer über dieselben, und zwar im Schachtliegenden sogenannte Tonnenfachhölzer, welche als Unterlage für die Straßbaumleitung, auf welcher die Tonnen mittels Rädern laufen, dienen, befestigt und sind wol auch zur Vermeidung des Ausspringens der Tonnen dieselben noch seitlich durch Streichbäume geführt.

Die Verbindung der Fördergefäße mit der Maschine erfolgt durch Seile, welche entweder aus Hanf, Aloe, Eisendraht oder Gußstahldraht bestehen können. Der Form nach sind dieselben entweder rund oder platt, und werden hiernach Rund- oder Bandseile genannt. Alle Seile werden zu ihrer bessern Conservirung öfters getheert. Die Rundseile werden aus 3—6 Litzen, von denen eine jede wieder aus 4—8 Drähten besteht, zusammengedreht und zur Herstellung von Bandseilen die einzelnen Litzen nebeneinander mit Draht zusammengestickt.

Um dem Fortgehen eines Fördergefäßes bei einem etwaigen Seilbruche und den Verwüstungen vorzubeugen, welche dasselbe im Schachte anrichtet, hat man für solche Fälle, und vorzugsweise in saigern oder starkgeneigten Schächten, in Verbindung mit dem Fördergestelle oder doch mit dem Rahmen zur Seilleitung Fangvorrichtungen angebracht. Ihrer gibt es nun sehr verschiedenartige und in der Zuverlässigkeit ebenso verschiedene Einrichtungen, welche mehr oder weniger auf dem Vorhandensein von hölzernen Leitbäumen zu jeder Seite des Fördertrums basiren.

Im allgemeinen lassen sich dieselben nach drei Richtungen hin klassiren, nämlich es sind an dem Gestelle vorspringende Hebel oder Riegel angebracht, welche im Falle des Seilbruchs an der Schachtzimmerung Halt finden sollen, oder es wird der Leitbaum durch den Fangapparat von innen nach dem Stoß zugedrückt, oder es werden die Leitbäume von zwei Seiten her zugleich gepackt, sei es durch gezahnte Excenter, oder durch Klauen an Hebeln, oder durch vorgestoßene Schneiden und Keile, welche im Momente des Seilbruchs durch starke Federn u. s. w. herausgeschnellt werden. Auf Taf. 4, in Fig. 19 a und b, sowie in Fig. 20 sind zwei dergleichen Fördergestelle mit Fangvorrichtung versehen abgebildet.

Was nun speciell die Motoren zur Förderung anlangt, so sehen wir, Taf. 3, Fig. 18, zunächst einen Pferdegöpel. Am obersten Theile der stehenden Göpelwelle, welche unten mit einem Zapfen in dem Göpelstocke steht, sitzt der Seilkorb entweder cylindrisch oder konisch und ist ferner mit der Göpelwelle der Schwengel oder Rennbaum verbunden, welcher indeß so angebracht sein muß, daß die Pferde umwenden können. Die Bespannung erfolgt durch ein oder zwei Pferde, und findet man auch Pferdegöpel, so zu Wieliczka, wo vier Paar Pferde die Bespannung ausmachen.

Die Fördergeschwindigkeit beträgt äußerstenfalls nur 0,5 Meter.

Von den durch Wasserkraft in Umtrieb gesetzten Göpeln ist in Fig. 19 und 20 eine Vorder- und Seitenansicht eines Kehrradgöpels skizzirt, wobei zu bemerken ist, daß die Räder wegen des Vor- und Rückwärtslaufens doppelt geschaufelt sein müssen und jede einzelne Radabtheilung für sich beaufschlagt wird. Die Räder, welche oft eine Höhe von 14 Metern haben, sind zumeist oberschlägig und sitzen die Seilkörbe entweder auf der Wasserradwelle direct auf, oder liegen verbunden mit derselben durch vierfaches Stangenvorgelege in der Sohle der Hängebank.

Der Treibemeister hat die Hebel für zwei Schützen, für den Brems und für die Sturzhaken bei Tonnenförderung zu führen und darauf zu achten, daß die eine gezogene Schütze, je näher die Tonne der Hängebank kommt, zur Hemmung der Bewegung mehr und mehr zu schließen ist. Die Geschwindigkeit bei dieser Förderung geht bis zu 1 Meter in der Secunde.

Aehnlich den Kehrradgöpeln sind die Turbinengöpel eingerichtet, nur mit dem Unterschiede, daß an Stelle des Wasserrades eine Turbine, sei es mit horizontal oder vertical liegender Welle, tritt.

Die Turbine kann je nach den localen Verhältnissen

voll oder partiell beaufschlagt werden. Die Turbinen müssen ferner natürlich ebenso zum Vorwärts- als Rückwärtslaufen eingerichtet sein, und gestatten zufolge ihrer großen Umdrehungszahl jede beliebige Tonnengeschwindigkeit, welche indessen unter Umständen durch mehrfache Räderübersetzungen herabzumindern ist. Auf dem Beustschachte zu Schneeberg arbeitet z. B. ein vom Schreiber dieses ausgeführter Turbinengöpel, bei welchem die 2 Meter hohe verticale Turbine unter einer activen Wassersäule von 371 Fuß = 106 Meter arbeitet und die Förderwagen im Schachte bei einer doppelten Räderübersetzung die mittlere Geschwindigkeit von 2,6 Meter in der Secunde haben.

Die Wassersäulengöpel endlich, bei welchen der Motor in einer Wassersäulenmaschine besteht, sind in ihrer Anwendung seltener, und findet man dergleichen im Mansfeldischen, in Ungarn, Böhmen und zu Schneeberg in Sachsen. Man wendet sie natürlich vortheilhaft nur bei großen Gefällen an, und beträgt die Fördergeschwindigkeit etwa höchstens 1 Meter in der Secunde.

Die kräftigsten aller Fördermaschinen sind aber die mit Dampf betriebenen, Fig. 21. Sie gestatten bei guter Construction und entsprechenden Einrichtungen im Schachte eine Fördergeschwindigkeit bis zu 7 Meter in der Secunde, und sind daher die Dampfgöpel von größter Wichtigkeit beim Steinkohlenbergbau, wo es sich um Bewältigung von großen Massen handelt und das Brennmaterial billig zur Hand ist. Die Dampfmaschinen sind hier alle doppeltwirkend, dagegen im Princip der Construction ziemlich mannichfaltig und hier und da mit oder ohne Vorgelegeräder. Zur Umsetzung der Bewegung bedient man sich allenthalben der Coulissensteuerung und bedient sich ferner mit großem Vortheile selbst bei den stärksten Göpeln von 100 und mehr Pferden der Zwillingsmaschinen ohne Schwungrad.

Als Seilkörbe treten hier entweder die gewöhnlichen cylindrischen, oder für Bandseile die Bandseilkörbe auf, sowie auch vielfach zur Egalisirung der Geschwindigkeit und zur Ausgleichung des Seilgewichts, namentlich bei sehr tiefen Schächten, Spiralkörbe in Anwendung gebracht werden.

VII. Die Fahrung.

Unter Fahrung im bergmännischen Sinne versteht man alle diejenigen Einrichtungen und Hülfsvorkehrungen, welche zum Zweck die Fortbewegung, beziehentlich den Transport der Arbeiter in und nach den verschiedenen Grubenräumen haben, und unter Fahren das Fortbewegen in denselben selbst. So hat man das Einfahren, das vor Ort- oder Abbaustoßfahren, das Ausfahren u. s. w.. Auf Taf. 1, Fig. 4 ist eine Einfahrt abgebildet. Die Fahrt (Leiter), das einfachste und weitverbreitetste Communicationsmittel, besteht aus den beiden Fahrtschenkeln und den Fahrtsprossen, welche in regelmäßigen Entfernungen von 0,3 Meter in die Fahrschenkel eingesetzt sind, und sind die Sprossen nicht wie bei einer gewöhnlichen Leiter rund, sondern breit und in der Mitte noch etwas verstärkt. Am besten nimmt man die Fahrtsprossen aus Eichenholz, während die Schenkel, bestehend in Halbholz von 7 Centimeter Breite, von weichem Holze sein können. Die Befestigung der Fahrten geschieht an sogenannten Fahrtfröschen, das sind quer über zwei Schachteinstriche gelegte Spreizen mittels der Fahrthaspen, und gibt man denselben zur bequemern Fahrung eine geneigte Stellung, wenn dieselbe nicht schon durch einen flach fallenden Schacht als solche bedingt ist. Die zweckmäßigste Neigung ist 70—75 Grad, und werden lothrechte Fahrten nur in den äußersten Fällen, bei sehr engen Schächten, die eine Schrägstellung der Fahrten nicht gestatten, gehangen. Bei ihnen ruht namentlich beim Ausfahren die ganze Last des Körpers in den Armen, und ist überdies für die Stellung der Füße ganz unbequem.

In saigern Schächten von einiger Tiefe müssen die Fahrten absatzweise eingebaut werden, damit in Entfernungen von 10—15 Metern Ruhebühnen, sogenannte Abtritte angebracht werden können.

Statt der Fahrten bedient man sich wol auch in besondern Fällen, allerdings nur in ganz flachfallenden Schächten, der Treppen, die entweder im Liegenden des Schachtes eingearbeitet oder aufgemauert sind. Auch hat man wol, so beim Salzbergbau im Salzkammergute in saigern Schächten Wendeltreppen, und ebendort auch in flachen Schächten sogenannte Rutschen, Rutschbahnen angewendet.

Da nun durch das Fahren auf den Fahrten, und namentlich bei sehr tiefen Schächten, sowol beim Einfahren als auch im verstärkten Maße beim Ausfahren, einmal bedeutende Zeit, dann aber große Kraft seitens der Arbeiter absorbirt werden, so hat man wol darauf Bedacht nehmen müssen, um die Arbeiter auf das beste in ihrer Arbeitsleistung auszunutzen, Einrichtungen zu treffen, um die Leute rasch und ohne Absorption der Kräfte durch den Schacht einzuführen.

Es sind dies die Fahrkünste und die Göpel, oder das Fahren am Seile.

Was nun zunächst die Fahrkünste anlangt, so ist zu bemerken, daß die erste derselben im Jahre 1833 zu Zellerfeld am Harze ausgeführt worden ist und sich dort diese Einrichtung mehr und mehr verbreitet hat. In verbesserter Construction wurden sie alsdann in Cornwallis eingeführt, und findet man jetzt noch an vielen andern Orten, so auf englischen und belgischen Steinkohlengruben, desgleichen in Westfalen und Przibram in Böhmen, schöne und großartige Ausführungen von Fahrkünsten.

Ihrer Einrichtung nach lassen sich dieselben in eintrümige und doppeltrümige, und hinsichtlich ihrer Bewegung in solche mit Krummzapfenbewegung und solche mit directer Wirkung der Dampfmaschinen zergliedern.

Bei der eintrümigen Fahrkunst hat man ein einfaches Gestänge, an welchem sich bewegliche Tritte befinden, während an den Stößen des Schachtes feste Tritte angebracht sind, welche von den beweglichen um die volle Hubhöhe entfernt liegen.

Bei den doppeltrümigen Fahrkünsten dagegen, Taf. 4, Fig. 17 u. 18, sind die Trittbühnen zur Aufnahme der Fahrenden meist um die doppelte Hubhöhe voneinander entfernt, dagegen aber, wenn der Hub groß genug ist, um die bequeme Stellung eines Menschen zwischen zwei untereinanderliegenden Tritten zu gestatten, lassen die Tritte auf einfache Hubhöhe voneinander sich anbringen, und kann hierbei gleichzeitig ein- und ausgefahren werden. Die beiden Gestänge gehen abwechselnd in kurzen Umsetzungspausen auf und nieder, und haben die Fahrenden, sobald zwei Tritte sich begegnen, einfach überzusteigen, wobei sich dieselben an eisernen Bügeln, welche in einer für die Hand bequemen Entfernung vom Trittbrete an den Gestängen angebracht sind, festhalten. Je nachdem nach links oder rechts übergestiegen wird kann man ein- oder ausfahren.

Die Gestänge sind entweder aus Holz oder Drahtseil, in vielen Fällen aber verschiedenartig aus Schmiedeeisen construirt.

Der Hub der Gestänge ist verschieden, und sind die neuern Fahrkünste bis zu einem Hube von 4 Metern ausgeführt worden.

Die Trittbühnen sind bei den meisten Künsten so gestellt, daß beim Begegnen nur ein kleiner Zwischenraum stattbat, damit beim Uebertreten ein Fehltritt nicht vorkommen kann, und sind wol auch an manchen Orten an den Trittbühnen noch besondere Geländer oder Barrieren angebracht. Außerdem muß aber auch noch eine gewöhnliche Fahrung im Schachte angebracht sein, einmal für vorkommende Reparaturen, dann aber auch um dem Fahrenden in jedem Falle die Möglichkeit zu bieten, die Fahrkunst verlassen zu können, und liegt bei einigen derselben die Fahrt direct zwischen den beiden Fahrgestängen.

Zur Bewegung der Fahrkünste können ebenso gut Wasserräder als Dampfmaschinen in Anwendung kommen, und hat man hier die Umsetzung der krummlinigen Bewegung infolge des Krummzapfens in die geradlinige vermittelt durch zwei Kunst- oder Gegenkreuze, Fig. 14. Bei directer Uebertragung der Bewegung von dem Motor auf das Fahrkunstgestänge werden nur Dampfmaschinen in Anwendung gebracht, wobei für doppelte Fahrkünste insbesondere dahin Vorsorge zu treffen ist, daß die Gestänge ihre wechselsweise Bewegung vollständig übereinstimmend zurücklegen, was bei der Krummzapfenbewegung von selbst geschieht. Hierbei hat man zur Erzielung einer für den Uebertritt nöthigen Pause Einrichtungen mittels Katarakts nöthig, und rechnet man auf diese Kataraktpausen eine Zeit von etwa 3 Secunden. Fig 17 stellt übrigens eine derartige Einrichtung vor.

Wegen der großen Kostspieligkeit der Fahrkünste in ihrer Anlage, geht man mehr und mehr allerorts über zu der zweiten maschinellen Fahrungsmethode, zu dem Fahren am Seile, und werden hierbei die Mannschaften mittels der Fördermaschine auf der Förderschale sowol ein- als ausgefördert bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 3—6 Metern in der Secunde.

Die Einrichtungen sind hierbei, namentlich bei tiefen und stark producirenden Gruben, aufs großartigste.

Da die Fördermaschine ohnehin vorhanden sein muß, so wird dieselbe mit Rücksichtnahme auf die Zeit, welche die Ein- und Ausförderung der Leute erfordert, nur etwas stärker zu nehmen sein, ohne daß separate Einrichtungen von nennenswerthen Kosten hierbei erwachsen. In der Regel beschränken sich dieselben auf eine gute Leistung der Förderschale, auf die sorgsame Pflege der Förderseile und auf Anbringung sicherer Bremsen an den Förderkörben und dem Schwungrade der Maschine, während zum besondern Schutze der Fahrenden über dem Gestelle Blechdächer, oder für den Fall eines Seilbruchs eine sichere Fangvorrichtung an den Gestellen angebracht ist, über deren Einrichtung schon früher zu sprechen Gelegenheit genommen wurde, und ist in Fig. 20 eine Mannschaftsförderung am Seile abgebildet worden.

VIII. Die Wetterführung.

Die Wetterführung, welche zum Zwecke die Versorgung der Grubenräume mit frischer und guter Luft und die Vertheilung derselben auf die verschiedenen Baue hat, bildet einen Hauptgegenstand, auf welchen der Bergmann sein Augenmerk zu richten hat, denn die ganze Grubenarbeit wird ja nur ermöglicht, wenn alle die Bedingungen erfüllt sind, unter denen die Arbeiter überhaupt zu existiren vermögen.

Hierzu gehört aber athembare Luft und Beseitigung derjenigen Gase, welche für die Lungen sowie für die Gesundheit überhaupt schädlich sind. Die schädlichen Substanzen sind im wesentlichen Kohlensäure, leichtes und schweres Kohlenwasserstoffgas, Kohlenoxydgas, und in einzelnen Gruben, so beim Erzbergbau, arsenikalische Dämpfe. Schon durch das Athmen vieler Menschen sowie durch das Brennen der Grubenlichter, wodurch der atmosphärischen Luft Sauerstoff entzogen wird, sodann durch die Sprengarbeit und die Zersetzung organischer Körper, das Ausdünsten der Arbeiter wird die Luft an sich verschlechtert, und ist es daher von höchster Wichtigkeit, auf gute Wetter zu halten und die Grubenräume zu lüften. In den angeführten Fällen pflegt man nun von matten oder schlechten Wettern zu sprechen, während man unter bösen Wettern alle diejenige Luft bezeichnet, welche dem Organismus feindliche Gase enthalten, so der Schwaden, und von schlagenden Wettern, welch letztere noch durch ihre leichte Entzündbarkeit tod- und verderbenbringend sind und schon so große und vielfache Opfer gefordert haben.

Die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft, der guten Wetter, beträgt in 100 Raumtheilen 78,5 Proc. Stickstoff und 20,6 Proc. Sauerstoff, 0,84 Proc. Wasserstoff und 0,04 Proc. Kohlensäure. Tritt nun infolge des Athmungs-, Verbrennungs-, Fäulniß- und Zersetzungsprocesses ein größerer Procentsatz an Kohlensäure (ċ) hinzu, so fangen bei einem Gehalte von 5—6 Proc. ċ die Lichter an schlecht zu brennen und verlöschen bei einem Gehalte von 10 Proc., und ist schon eine 5 Proc. Kohlensäure haltende Luft dem Bergmanne höchst gefährlich.

Das Grubengas, feuriger Schwaden, besteht aus 4 Volumen Wasserstoffgas und 4 Volumen Kohlenstoff zu 2 Volumen Kohlenwasserstoffgas verdichtet, und bildet im Gemenge mit atmosphärischer Luft die schlagenden Wetter und detonirt, während es für sich allein nur mit schwachleuchtender blauer Flamme brennt. Dasselbe kommt besonders häufig in Steinkohlengruben vor, aber auch in Steinsalzgruben, in bituminösen Schiefern und kohligem Gesteine. Eine Eigenthümlichkeit desselben ist die geringe Dichtigkeit, vermöge welcher das Gas nach oben strebt und obere Baue, welche keinen Ausgang haben, ausfüllt und sich in Aushöhlungen der Förste ansammelt, dann aber da, wo sich das Gas aus den Poren der Kohle entwickelt, ein knisterndes Geräusch, ähnlich als wenn Krebse übereinanderkröchen, von sich gibt.

Der natürliche Wetterwechsel ist der beste und billigste und zugleich sicher, da er stetig und umfassend wirkt. Bei dem natürlichen Wetterzuge, welcher auf dem Vorhandensein einer Störung im Gleichgewichte beruht, wird diese Störung durch die Differenz der Temperaturen über Tage und in der Grube hervorgebracht und ist der Wetterzug um so flotter, je größer der Temperaturunterschied ist. Auf die Art des Wetterzugs influiren also die verschiedenen Jahreszeiten, und da die Grubenluft an sich stetig gleichbleibt, so können Zeiten kommen, wo der Wetterzug stockt und man zu künstlichen Hülfsmitteln Zuflucht nehmen muß. Aehnlich wie die Temperatur wechseln zwei Schächte nach Maßgabe der Niveauverhältnisse ihrer Hängebänke.

Der künstliche Wetterzug ist überall da, wo die Niveauverhältnisse oder gleiche Temperaturen den natürlichen Wetterwechsel ausschließen, unentbehrlich und kommt am häufigsten entwickelt vor beim Kohlenbergbau wegen des Auftretens der schlagenden Wetter u. s. w.

Die künstliche Ventilation ganzer Grubengebäude beruht lediglich in der Vermehrung des Dichtigkeitsunterschiedes der im Wetterwechsel stehenden Säulen, und wird dieselbe entweder durch Vermehrung der Temperaturunterschiede, durch ein Erwärmen des ausziehenden oder durch Abkühlen des einfallenden Wetterstroms, oder direct durch Vermehrung des Dichtigkeitsunterschiedes auf mechanischem Wege erzielt.

Hierbei wird entweder durch saugende Maschinen der ausziehende Luftstrom verdünnt, oder durch blasende Maschinen der einfallende verdichtet.

Zur Erwärmung der Wetter unter Tage bedient man sich sogenannter Wetteröfen, Taf. 4, Fig. 2 und 3, welche ebenso gut über als unter Tage angelegt sein können, von denen indessen die letztern insofern vortheilhafter sind, als der Schacht als ein Schornstein von beträchtlicher Zughöhe bereits vorhanden, für erstere aber unter Umständen ein separater Schornstein aufzuführen ist. Die Einrichtung der Wetteröfen ist eine sehr einfache, obschon sie nach der Oertlichkeit eine sehr verschiedenartig ausgeführte sein kann.

Von größerer Bedeutung und weitester Anwendung aber sind die Wettermaschinen, die, wie schon bemerkt, blasend, oder was das Natürlichere ist, saugend eingerichtet sein können. Ihrer Construction nach lassen sich dieselben zergliedern in solche mit intermittirender Bewegung, wohin die Kolbenmaschinen, Glockenmaschinen und der Harzer Wettersatz, Taf. 3, Fig. 23, gehören, und dann in solche, welche eine rotirende Bewegung haben, wohin die verschiedenen Ventilatoren, als Centrifugalventilatoren, Fig. 24—26, sowie die Schraubenventilatoren, Fig. 27, und die Wetterräder von Fabry, Taf. 4, Fig. 1, und von Lemielle gehören.

Die Kolbenmaschinen sind den einfach wirkenden Kasten- oder Cylindergebläsen nachgebildet und stets zu zwei combinirt, und findet beim Aufgange der Kolben Depression und beim Niedergange Compression statt. Der Harzer Wettersatz, beim Erzbergbaue sehr gebräuchlich und anwendbar bei Ventilation von Grubenräumen geringern Umfangs, kann einfach oder doppelt wirkend construirt und ebenso als Bläser als auch als Sauger eingerichtet sein. Der einfach wirkende, saugende Apparat, Taf. 3, Fig. 23, besteht in einem prismatischen Kasten, dessen Boden mit Ventilen nach oben gekehrt und mittels eines Krumses an das Pumpengestänge angeschlossen ist. Dieser Kasten taucht nun mit seiner offenen Seite in einen zweiten oben offenen und mit Wasser gefüllten Kasten, durch dessen Boden eine mit Ventil versehene Lutte hervorragt, und wird beim Aufgange des Gestänges durch diese Lutte Luft angesaugt und beim Niedergange des Gestänges dieselbe durch die obern Ventile ausgeblasen. Der Stand des Absperrungswassers gibt die manometrische Pressung direct an.

Die Ventilatoren als Wettermaschinen, welche von denen der Gebläsemaschinen dahin zu unterscheiden sind, als bei diesen mit wenig Pressung große Luftmengen in Bewegung zu setzen sind, während bei jenen das Umgekehrte stattfindet, sind in ihrer Ausführung von großer Verschiedenheit, welche einestheils auf der Gestalt der Flügel, welche radial stehen, convex oder concav gekrümmt sein können, anderntheils auf der Stellung des Flügelrades im Gehäuse, das ist entweder radial mit cylindrischem Gehäuse, oder excentrisch mit spiralem Gehäuse, beruht, dann aber ob die Ventilation mit der Kurbel allein, oder in Verbindung mit Getriebe, oder mittels Uebertragung durch Riemen stattfindet. Die Ventilatoren sind ebenso für einzelne Grubenräume, als auch für ganze Grubengebäude in Anwendung, und sind es im letztern Falle vorzugsweise die Ventilatoren von Rittinger, Letoret, Guibal, Combes, welche alle saugend eingerichtet sind und mit welchen jedes beliebige Luftquantum (man rechnet circa 1—2 Kubikfuß in der Secunde und auf den Arbeiter) angesaugt werden kann. Zur Regulirung des Wetterzugs und zur Absperrung werden je nach Nothwendigkeit Wetterthüren, Fig. 22, eingehangen, die so eingerichtet sind, daß sie von selbst wieder zufallen, was in Strecken, wo Förderung geht, unbedingt nöthig ist. Auch wird die Wassersaige mit ganzem Tragwerk zugemacht, als Wetterführungskanal, und wo eine solche nicht vorhanden ist, eine in der Förste der Strecke angebrachte Luttenführung zur Circulation der Wetter benutzt u. s. w.

Anhangsweise möge nun hier an dieser Stelle noch einiges über die Beleuchtung der Gruben gesagt sein. Die von den Bergleuten geführten Beleuchtungsmittel sind nach den verschiedenen Localitäten sehr verschieden, man hat Kienspäne, Fackeln, gewöhnliche Lichter, offen oder geschlossen in Laternen (Blenden), und für Talg und Oel Lampen von mannichfacher Einrichtung, und werden nur die Füllörter und lange Förderstrecken stationär beleuchtet, während sonst jeder Bergmann seinen eigenen Leuchtapparat mit sich führt.

Am wichtigsten ist die Beleuchtung derjenigen Gruben, bei welchen man mit schlagenden Wettern zu kämpfen hat. Hier ist es in der Grundidee die Sicherheitslampe von Davy, bestehend in einer gewöhnlichen runden Lampe, auf welcher ein kegelförmiges oder cylindrisches Drahtgeflecht aufgesetzt ist, innerhalb dessen die Flamme brennt, ohne daß hierbei die Entzündung auf die das Netz umgebende, mit schlagenden Wettern erfüllte Luft ausgedehnt wird. Das feine Metallgewebe vertheilt nämlich die Hitze der Flamme so rasch infolge der großen Abkühlungsfläche, daß das Kohlenwasserstoffgas, welches zu seiner Entzündung eines großen Hitzgrades bedarf, nicht so weit erwärmt wird, daß es brennt. Selbstverständlich hat die ursprüngliche Lampe von Davy mit der Zeit mehrfache Verbesserungen und Vervollkommnungen erfahren, sodaß es jetzt eine Menge von Sicherheitslampen gibt. Auf Taf. 3, Fig. 28 sind zwei dergleichen skizzirt.

Schließlich möge noch bemerkt sein, daß die Sicherheitslampe zwar ein sehr schätzbares Palliativ ist, daß es aber immer im Auge zu behalten ist, durch hinreichende frische Wetter die Ansammlung schlagender Wetter zu verhindern, um völlige Gefahrlosigkeit zu erlangen, denn auch in dem Gebrauche der Sicherheitslampe ist so manche Vorsicht zu beobachten, die, übersehen, unrettbar ihre Opfer fordert.

IX. Die Wasserhaltung.

Ebenso wie die schlechten und bösen Wetter sind die Wasser, welche den Grubenbauen continuirlich in mehr oder weniger verstärkter Weise zugehen, zu beseitigen, zu gewältigen, und werden alle die Mittel und Wege, die Grubenbaue von Wassern frei zu halten, in den Collectivbegriff Wasserhaltung zusammengefaßt. Wie schon erwähnt ist die Stärke der Grundwasser (so bezeichnet man nämlich die in der Grube auftretenden Wasser) sehr verschieden und beeinflußt von klimatischen und allgemeinen Witterungsverhältnissen, dann von der Beschaffenheit der Oberfläche und des Gebirges, sowie endlich von der Ausdehnung der Grubenbaue selbst, denn je mehr ein Gebirge durch bergmännischen Betrieb aufgeschlossen ist, desto größer wird

die Oberfläche, das Terrain zur Zapfung der im Gebirge oder im Gang- oder Flötzkörper auftretenden Wasser.

Die Gruben- oder Grundwasser haben alle ihren Ursprung von den auf der Tagesoberfläche stattgehabten atmosphärischen Niederschlägen und den daselbst vorhandenen Wasserläufen, indem sie sich auf Klüften oder Spalten u. s. w. nach der Teufe verfällen, und ist es erforderlich, zur Herabminderung der Grubenwasser Vorrichtungen zu treffen, wenn möglich dieselben abzuhalten oder doch wenigstens nur bis auf eine bestimmte Sohle, die Stollensohle, wo der Abfluß frei und ohne Beihülfe von Maschinen geschieht, verfällen zu lassen.

Der Mittel und Wege zur Abhaltung oder Herabminderung der Grubenwasser gibt es verschiedene, so das Treiben von Stollen und Stollenflügeln, Umbrüche, Anzüchte, Verfluthenungen, wasserdichter Ausbau, Verspünden durch Holz oder Cementmauer u. s. w., und müssen, da in den meisten Fällen nurgedachte Mittel eine absolute Zurückhaltung der Wasser nicht ermöglichen lassen, die Grubenbaue mit Hülfe von Maschinen von Wassern freigehalten werden, indem solche aus den tiefern Bauen entweder bis zu den das Wasser abführenden Stollen oder, wo solche nicht vorhanden sind, bis zur Tagesoberfläche ausgehoben werden; denn sonst würde, was allerdings auch beim Versagen der Pumpwerke eintritt, ein Aufgehen der Grundwasser und infolge dessen ein Ersaufen der Grubenbaue stattfinden.

Die einfachste, in der Wirkung die beste und für jede Wasserhebungsteufe anwendbare Maschine ist die Pumpe, bei welcher die Hebung des Wassers innerhalb eines Rohrs mit Hülfe eines Kolbens geschieht. Man unterscheidet einfach- und doppeltwirkende Pumpen, und erfolgt bei erstern der Ausguß des angehobenen Wassers nur bei Zurücklegung des einseitigen Kolbenwegs, also stoßweise, bei den letztern dagegen continuirlich, indem der Ausfluß sowol beim Auf- als Niedergang des Kolbens erfolgt.

Die wesentlichen Bestandtheile der Pumpen sind das Kolbenrohr mit dem Kolben, die Saugröhren, die Steigröhren und die Ventile, und unterscheidet man je nach der Einmündung der Steigröhren über oder unter dem Kolben, Hub- und Druckpumpen. Ist gar keine Steigröhre vorhanden, so hat man den gewöhnlichen Saugsatz, und unterscheidet sich der Saugsatz vom Drucksatze darin, daß ersterer einen hohlen, mit Klappe versehenen Kolben, letzterer einen völlig geschlossenen Kolben hat, ersterer während des Ansaugens des Wassers zugleich ausgießt, dagegen letzterer abwechselnd saugt und ausgießt. Auf Taf. 4, Fig. 8 und 9, ist ein einfacher Saugsatz dargestellt. Derselbe besteht aus dem Satzoberstück und dem Satzunterstück, zwischen welchen die Kolbenröhre, in der der Kolben spielt, luftdicht eingesetzt ist. In das Unterstück münden die Saugrohre ein und ist am Einmündungspunkte das Saugventil angebracht. Der Kolben, dessen Einrichtung aus Fig. 16 zu ersehen ist, ist zum luftdichten Abschlusse mit einem Lederstulp versehen und in seiner Kolbenstange mittels eines Stangenhakens an das auf- und niedergehende, durch Walzen geleitete Pumpengestänge angeschlossen.

Die Einrichtung eines sehr gebräuchlichen einfach wirkenden Drucksatzes, dessen Druck- oder Steighöhe oft sehr bedeutend gemacht wird, ist aus Fig. 10 und 11 zu ersehen und die Einrichtung eines Saug- und Druckventilgehäuses für solchen aus Fig. 13.

Ein solcher Drucksatz besteht aus der Nonne mit Stopfbüchse, dem Pumpenkolben oder Mönch genannt, den beiden Ventilgehäusen nebst Ventilen, dem Saugrohre und den Steigröhren, welche letztere entweder mit Muff oder Flantsch untereinander verbunden sind. Der Kolben sitzt hierbei direct an dem Schacht- oder Pumpengestänge, und wird das Gestänge unterhalb des Drucksatzes durch das Scherengestänge weiter fortgeführt, und hat das Gewicht des combinirten Pumpengestänges die beim Aufgange des Gestänges angesaugten Wasser bei seinem Niedergange durch die Steigröhre hinauszudrücken, sodaß die Drucksätze gewissermaßen zugleich als Balancier für das Gestänge wirken. Die Einrichtung eines doppeltwirkenden Drucksatzes dürfte zur Genüge aus Fig. 12 ersichtlich sein.

Ein einfacher Kolben wirkt bei seinem Auf- und Niedergange gleichzeitig saugend und drückend, sodaß ein continuirlicher Wasserstrom, der nur durch das Umsetzen des Gestänges unterbrochen wird, ausgetragen wird. Als Ventile sowol für das Saugen als Drücken benutzt man Klappenventile, konische und Kugelventile, Tellerventile, Glockenventile mit doppeltem Sitze, Trichter- und Kugelventile und endlich Kolbenventile, und als Kolben cylindrische oder Trichter- und Röhrenkolben, und nach der Liderung, massive Metallkolben oder Scheiben- und Stulpkolben.

Die Schachtgestänge, welche den Zweck haben, die Bewegung des Motors auf die Pumpenkolben zu übertragen, bestehen entweder aus Holz in Verbindung mit Eisen, oder zuweilen von Holz allein, und werden in neuerer Zeit vielfach ganz in Eisen ausgeführt.

Das hölzerne Gestänge ist rechteckig oder quadratisch und besteht aus einzelnen Stangen, Kunststangen genannt, welche stumpf zusammengestoßen entweder mit hölzernen Laschen an zwei Seiten, oder mit schmiedeeisernen dergleichen zusammengeschloßt sind. Aehnlich ist die Verbindung der eisernen Kunstgestänge, die ebenso gut rund sein können, nur mit dem Unterschiede, daß man hier Kuppelungen der einzelnen Stangen mittels Muffes oder Flantsches bewirkt. Der Querschnitt des Gestänges nimmt übrigens regelmäßig ab mit der Zunahme der Teufe. Die Lagerung der Pumpen im Schachte erfolgt entweder auf starken Hölzern oder Blechträgern, oder auch auf gemauerten Tragebogen.

Was nun endlich die Motoren zur Wasserhaltung anlangt, so werden beim Bergbau nur in seltenen Fällen zur Bewegung der Pumpenwerke animalische Kräfte und ebenso wenig vom Wind bewegte Maschinen angewendet, häufiger dagegen hydraulische Motoren, in den meisten Fällen aber wird Dampfkraft mit Nachdruck in Benutzung genommen.

Nur bei kleinen Wasserzugängen und geringer Wasserhaltungsteufe oder bei Gesenken kommen Hand- oder Tretpumpen oder Roßkünste vor, während man indeß auch hierfür in neuerer Zeit, namentlich bei Schachtabteufen, wo die Wasserzugänge nur gering auftreten, Locomobilen als Kunstgezeug mit Vortheil benutzt, Fig. 7.

Bei Pumpen, welche durch Wasserräder bewegt werden, wird die Kraft in der Regel durch Krummzapfen, Fig. 15, übertragen, wobei eine Umsetzung durch Vorgelegsräder bei verticalen Wasserrädern, die oft eine Höhe von 14 Metern erreichen, nicht, wohl aber bei horizontal und schnelllaufenden Wasserrädern (Turbinen) erforderlich wird, weil für die Bewegung der Pumpen eine gewisse Geschwindigkeit innezuhalten und diese nicht zu überschreiten ist. Bei den gewöhnlichen Wasserradkünsten greift das Pumpengestänge entweder unmittelbar an den Krummzapfen der Radwelle, oder es hängt an einem Kunstkreuze, welches vom Krummzapfen durch eine besondere Lenk- oder

Ortstange in auf- und abgehende Bewegung gesetzt wird. Bei Anwendung von doppeltem Kunstgestänge, wobei sich dasselbe in sich balancirt, hat man die sogenannten Gegenkreuze, Fig. 14, welche oben miteinander durch Schienen verbunden sind. In Fig. 4 ist ein Kunstgezeug innerhalb eines Grubenraumes dargestellt worden.

Die Wassersäulenmaschinen, Fig. 5 und 6, eignen sich vorzugsweise zur Bewegung von Pumpen, weil die Bewegung des Wassers in der Maschine genau den Gesetzen der Bewegung des Wassers in den Pumpen entspricht. Sie sind daher auch sämmtlich direct wirkend eingerichtet und liegen die Pumpenkolben entweder direct unter dem Treibekolben oder sie sind an das Kunstgestänge mittels Krumses oder Schlosses seitlich angeschlossen. Die Wassersäulenmaschinen werden natürlich überall da angewendet, wo man bedeutende Gefälle zur Disposition hat, wie am Harz, im Mansfeldischen, in Freiberg und Schneeberg in Sachsen u. s. w., und wo man die von der Maschine verbrauchten Aufschlagwasser auf einem Stollen zum Abfluß bringen kann.

Die Wassersäulenmaschinen, die in ihren Einrichtungen sehr verschieden sein können, bestehen im wesentlichen aus dem Treibecylinder mit dem Treibekolben, dem Hauptsteuercylinder mit dem Communicationsrohre nach dem Treibecylinder, dem Hülfs- oder Vorsteuercylinder mit den nöthigen Communicationsrohren nach dem Hauptsteuercylinder und dem Einfallrohre, dem Einfallrohre selbst, dem Austragrohre und der Kolben- oder Schieberverbindung im Haupt- und Hülfssteuercylinder zur Umsetzung der Bewegung. Die Umsteuerung durch einen Kolbenapparat ist die gebräuchlichste, während die durch Schieber nur selten anzutreffen ist, so zu Přibram in Böhmen.

Zur Regulirung, beziehentlich Arretirung der Bewegung sind Hähne oder Drosselklappen sowol im Einfall- als Austragrohre angebracht und ebenso Hähne in den Communicationsrohren zwischen den beiden Steuercylindern eingeschaltet. Die Abbildungen auf Taf. 1 und Taf. 4 dürften zur Veranschaulichung einer Wassersäulenkunst in ihrer Einrichtung und Aufstellungsweise in der Grube völlig genügen.

Von größerer Wichtigkeit endlich, zumal beim Kohlenbergbaue, sind die Dampfmaschinen, die man, nicht wie bei den Wassermotoren an gewisse Verhältnisse gebunden, in jeder beliebigen Kraftäußerung ausführen kann. Die Dampfkünste können ebenso direct als indirect wirkend sein, und wird bei den indirect wirkenden Dampfmaschinen die Kraft auf die Pumpen entweder durch einen auf- und niedergehenden Balancier, oder durch einen rotirenden Krummzapfen, beziehungsweise einen Zahnradmechanismus übertragen. Bei den direct wirkenden Maschinen, welche in der Regel einfach wirkend sind, geht dagegen der Hub des Dampfkolbens unmittelbar auf die Pumpe über, und stimmen diese mit dem Principe der Wassersäulenmaschine insofern überein, als der Dampf unter den Kolben tritt und das Pumpengestänge hebt, während das Gestänggewicht den Niedergang desselben hervorruft, zu dessen Ausgleichung sowie zur Erzielung eines regelmäßigen, gleichmäßigen Ganges ein Gegengewicht erforderlich ist. Sehr beliebt in ihrer Anwendung und vortheilhaft sind die stehenden Cornischen Dampfmaschinen, während man außer diesen beim Bergbau sonst noch jedes andere Constructionsprincip der Dampfmaschinen in Anwendung gebracht, wol auch bei schwacher Wasserhaltung das Pumpengestänge zugleich mit an die Fördermaschine angeschlossen hat.

Metallurgie.

Bearbeitet von F. Bischoff.

(Tafel 5 bis 8.)

I. Aufbereitung.

Die durch die bergmännischen Gewinnungsarbeiten gewonnenen Erzmassen besitzen selten die Reinheit, welche eine directe Zugutemachung in den Hüttenwerken gestattet, vielmehr sind die nutzbaren Mineralien in den Erzen mit andern Mineralien gemengt, und bilden mit diesen in der Regel compacte ungleichartige Massen. Diese fremden mineralischen Beimengungen bezeichnet man im allgemeinen als Gangarten, und unterscheidet metallische und nichtmetallische Gangarten, je nachdem der wesentliche Bestandtheil derselben ein Metall ist oder nicht. Die erstern können nun als Träger eines nutzbaren Metalls selbst nutzbar, oder, wie fast alle nichtmetallischen Gangarten, werthlos sein, werden jedoch, abgesehen von ihrem absoluten Werthe, auch werthlos, wenn sie auf die anderweite Zugutemachung des Haupterzes nachtheilig einwirken.

Die Absonderung dieser Gangarten vor der eigentlichen Verhüttung ist die Aufgabe der Aufbereitung, welche bezweckt, durch mechanische Hülfsmittel die werthvollen und nutzbaren Gemengtheile zu gewinnen und die werthlosen zu entfernen. Die Arbeiten der Aufbereitung sind demnach Separationsarbeiten, welche entweder ohne oder mit Zuhülfenahme des Wassers ausgeführt werden. Diesen Arbeiten muß jedoch in den meisten Fällen eine Zerkleinerung vorausgehen, welche ein Aufschließen und Bloßlegen der in den compacten Erzstücken enthaltenen werthvollen Gemengtheile bezweckt, weshalb die Aufbereitungsarbeiten aus einer wechselnden Reihenfolge von Zerkleinerungs- und Separationsarbeiten zusammengesetzt sind.

Die Separation eines zerkleinerten Haufwerks geschieht nun nach der Dichtigkeit der einzelnen Gemengtheile in der Weise, daß in der Regel die specifisch schwersten als die fast stets werthvollsten Gemengtheile daraus abgeschieden werden. Man löst diese Aufgabe dadurch, daß man aus einem Haufwerke die gleichgroßen Gemengtheile abscheidet, also nach Maßgabe der Größe separirt, und dann aus diesem Gemenge gleichgroßer Stücken die schwersten und werthvollsten abscheidet, also nach Maßgabe des absoluten Gewichts trennt. Die erste Art der Separation nennt man Klassificiren oder Klassiren, die zweite Sortiren. Man erreicht aber auch dasselbe Ziel, wenn man sich zuerst ein Gemenge von Stücken herstellt, von denen jedes das gleiche absolute Gewicht besitzt, und aus diesem Haufwerke, welches nothwendig aus verschieden großen Gemengtheilen bestehen muß, nach der Größe die einzelnen Theile absondert.

Werden diese Arbeiten mit Zuhülfenahme des Wassers ausgeführt, so heißt die Aufbereitung eine nasse, im Gegensatz zur trockenen, welche jenes Mittel nicht anwendet.

Die erste Arbeit der trockenen Aufbereitung wird in der Grube selbst vorgenommen, indem man die hereingebrochenen Massen von dem tauben Gestein, welches man Berge nennt, trennt und gleichzeitig auch die haltigen Massen oberflächlich nach ihrer Beschaffenheit absondert. Je nach ihrer Größe gibt man den erzigen Gesteinsstücken die Namen Erzwände und Erz- oder Grubenklein. Die Erzwände theilt man in:

Derberz, wenn die einzelnen Stücke derbes,

Mittelerz, wenn die Stücke grob eingesprengtes,

Bergerz (Pochgänge), wenn die Stücke fein eingesprengtes Erz enthalten.

In diese drei Sorten und Grubenklein sortirt, werden

die Erze zu Tage gefördert und jede Sorte für sich weiter verarbeitet; oft jedoch fehlt die erste oder zweite Sorte der Erzwände, oft ist auch eine Absonderung des Grubenkleins nicht gerechtfertigt, namentlich wenn nur Bergerze ausgeschieden werden, mit denen dann jenes gemeinschaftlich zur Verarbeitung gelangt.

Wie schon bemerkt, ist die Absonderung in der Grube nur eine vorläufige und wegen der mangelhaften Beleuchtung auch unvollkommene, weshalb über Tage zunächst eine zweite, genauere Trennung vorgenommen werden muß, welche man mit dem Namen **Ausschlagen** bezeichnet. Mit ungefähr 4 Kilogramm schweren Hämmern (Gängfäustel) werden die Wände zerschlagen und je nach der Größe der in ihnen vorkommenden Erztheilchen in obengenannte drei Sorten sortirt. Das Ausschlagen der Derberze heißt insbesondere **Scheiden**, und wird mit leichtern Hämmern (Scheidehämmer) sorgfältiger ausgeführt, während das Ausschlagen der Mittel- und Bergerze in der Nähe des Sturzplatzes auf einem geräumigen Platze der Halde erfolgt, welcher mit einem leichten Dache bedeckt (überschauert) ist. Bei dieser Arbeit ist es hier und da üblich, die Erzwände durch Begießen mit Wasser von anhängendem klaren Schmuz zu befreien. Mit der Sortirung der Erze in mehrere Sorten verbindet man bei der Ausschlagearbeit zugleich den Zweck, die Erze in eine für die nachfolgende Zerkleinerung taugliche Form zu bringen. Bei der Bestimmung der Anzahl der Sorten, in welche man die ausgeschlagenen Erze sortirt, wird nicht selten auch darauf Rücksicht zu nehmen sein, ob die auszuschlagenden Wände mehrere nutzbare Erzsorten enthalten, welche für sich ausgehalten werden müssen, weil sie entweder für sich allein weiter verarbeitet werden sollen oder den Werth des Haupterzes beeinträchtigen. Mit Vortheil kann man sogar auch die Gangarten nicht unberücksichtigt lassen, und in Rücksicht auf diese die Erze trennen, z. B. in schwerspatige, quarzige oder kalkige, wodurch man nicht allein sich selbst die Aufbereitung erleichtert, sondern auch der Verhüttung einen Dienst erweisen kann.

Die derben Erze, welche aus der Grube gekommen, und die, welche beim Ausschlagen gewonnen wurden, kommen hierauf zur **Scheidearbeit**, welche bezweckt, möglichst reines Derberz aus dem rohen zu gewinnen. Zu diesem Behufe werden von Jungen, Invaliden oder auch weiblichen Arbeitern die Stücke zerschlagen und in mehrere Sorten sortirt, deren Anzahl sich im allgemeinen nicht festsetzen läßt, sondern lediglich von der Beschaffenheit der Erze abhängig ist. Es gelten auch hier im wesentlichen für die Sortirung dieselben Gesichtspunkte, wie beim Ausschlagen, nur muß man bei weitem sorgfältiger verfahren und reiner sortiren. Der größere Werth der Erze (Scheideerz) verlangt, daß diese Arbeit in geschlossenen Räumen vorgenommen wird, welche man Scheidestuben nennt, in welchen die Scheidetische oder Scheidebänke mit den in ihnen eingelassenen eisernen Scheideplatten, die als Unterlagen beim Zerschlagen dienen, aufgestellt sind. Vor und hinter den scheidenden Arbeitern stehen Gefäße, welche zur Aufnahme der ausgeschiedenen Erzsorten dienen und in welchen die Erze nach den Vorrathsräumen transportirt werden, wo sie, zu größern Haufen aufgesammelt, einer weitern Verarbeitung vorbehalten bleiben. Im Hintergrunde des Bildes Fig. 3, Taf. 5, ist eine Scheidebank dargestellt.

Die bei der Scheidearbeit gewonnenen reinen Erzstücke, welche reich und rein genug zur Verhüttung (lieferungs- oder schmelzwürdig) sind, bedürfen nun noch einer Zerkleinerung, die mittels eines **Trockenpochwerks** vorgenommen wird, welches uns Taf. 5, Fig. 1, dargestellt wird. Durch diese Maschine wird das in Stücken befindliche Erz, welches unter die mit Eisen beschuhten Stampfen auf eine eiserne Sohle gebracht worden ist, zertrümmert und durch Sieben oder Durchwerfen durch ein Sieb von den groben, noch nicht feingepochten Theilen, die wieder in den Pochtrog zurückfallen, getrennt.

Die Arbeiten der **nassen** Aufbereitung, welcher die Mittel- und Bergerze, die sowol beim Ausschlagen und auch bei der Scheidearbeit gewonnen worden sind, unterworfen werden, beruhen bezüglich der Separationsarbeiten auf dem Verhalten der festen steinigen Körper in ruhigem und bewegtem Wasser; man erreicht also die Separation der Erztheile auf mechanischem Wege, während bei der trockenen Aufbereitung das Auge und die Hand des Arbeiters die Mittel zur Absonderung bieten.

Die Zerkleinerung, welche auch bei der **nassen** Aufbereitung der Separation vorausgehen und die Erzstücke für diese letztere erst tauglich machen muß, geschieht auf mehrfache Art; entweder werden die Erzstücke durch **Quetschwerke** (Walzen), durch **Pochwerke** oder durch **Mühlen** bis zu der Größe zertheilt, bei welcher ein möglichst vollständiges Aufschließen der einzelnen Erzpartikelchen erfolgt ist. Bis zu welchem Grade die Zerkleinerung getrieben werden soll, richtet sich ganz nach der Beschaffenheit des Erzes und läßt sich nur durch die Erfahrung feststellen. Zweckmäßig ist es aber, namentlich für grob eingesprengte Erze, eine stufenweise Zerkleinerung, d. h. vom Gröbern zum Feinern vorzunehmen in der Weise, daß man die schon vollkommen aufgeschlossenen gleichartigen Gemengtheile absondert und den Theil, welcher noch nicht genügend aufgeschlossen ist, einer weitern Zerkleinerung unterwirft u. s. w.

Das Zertrümmern der Erzstücke durch **Walzen** eignet sich vorzüglich für grob eingesprengte Erze und geschieht dadurch, daß dieselben zwischen zwei gegeneinander rotirende gußeiserne Walzen von circa 40—60 Centimeter Durchmesser gebracht werden, von denen sie infolge eines allmählich zunehmenden Drucks zermalmt werden. Das zerquetschte Gut muß fast stets nach der Größe des Kornes abgesondert werden, d. h. klassirt werden, was durch einen zunächst dem Walzwerke aufgestellten Siebapparat bewerkstelligt wird. Das Zerquetschen durch Walzen kann nun trocken geschehen, oder man kann auch, um den sich bildenden Staub für die um den Apparat beschäftigten Arbeiter unschädlich zu machen, die Erze naß quetschen und zu diesem Zwecke während der Arbeit Wasser zwischen die Walzen einleiten. In diesem Falle müssen dann auch die darauffolgenden Klassirungsarbeiten naß vorgenommen werden.

Für fein eingesprengte Erze eignet sich besonders das Zerkleinern mittels der **Poch- und Stampfwerke**, durch welche man im Stande ist, die Erze sehr fein zu zertheilen und daher auch ganz vollkommen aufzuschließen. Die Pochstempel oder Stampfen, welche in ihrer Anordnung und Führung denen eines Trockenpochwerks gleichen, fallen auf eine die Sohle eines mit Wasser gefüllten Trogs bildende harte Unterlage, die **Pochsohle**, nieder und zerkleinern unter beständigem Zufluß von reinem Wasser die Erzstücke, welche aus der sogenannten **Pochrolle**, dem Kasten, welcher jeden Pochtrog gleichmäßig und selbstthätig mit Pochgut versorgt, zugeführt werden. Die selbstthätige Zuführung geschieht mit Hülfe des sogenannten Klopfers, welcher beim zu tiefen Herabfallen des Pochstempels von diesem getroffen und bewegt wird und durch die dabei entstehende Erschütterung das Herausfallen der Pocherze aus der Rolle bewirkt. Das während des Zerstampfens gleichmäßig in den Pochtrog zufließenden

hrt nun entweder auf der breiten oder der
Seite des Pochwerks die fein genug gepochten
n fort und entzieht sie dadurch einer weitern
t, ja oft sogar schädlichen größern Zerkleinerung.
Fig. 1 veranschaulicht die Einrichtung eines
werks und der zur Aufbewahrung und Zu-
es Pochgutes dienenden Rolle nebst Klopfer.
dnung eines solchen Pochwerks ist sehr ein-
edarf keiner weitern Erklärung. Die Stempel,
Gewicht von ungefähr 3—4 Centner besitzen,
der Regel 20—30 Centimeter hoch gehoben.
erkleinern durch **Mahlen** kommt bei der
itung seltener, wohl aber bei der der
Anwendung. Zu letzterm Zwecke benutzt
er Regel sogenannte Kegelmühlen, welche so
sind, daß in einem aufrechten eisernen Kegel,
ere Oberfläche mit Schneiden versehen ist,
benfalls eiserner Kegel dreht, dessen äußere
ebenfalls mit Schneiden versehen ist. Da-
diese Schneiden so gestellt sind, daß sie
der sich bewegen, wird die Zerkleinerung
hrt, die aber in diesem Falle ein weiches
voraussetzt.
Zerkleinerung der Erze, welche eigentlich nur
beit anzusehen ist, folgt nun die Separation
en Gemengtheile, und zwar, wie schon oben
, durch die doppelte Absonderung nach der
d nach dem absoluten Gewichte derselben.
n nun entweder zuerst nach der Größe und
dem absoluten Gewicht, oder umgekehrt
dem Gewicht und dann nach der Größe ab-
ann man zwei getrennte Wege einschlagen,
der erste durch die sogenannte **Setzarbeit**,
durch die sogenannte **Herdarbeit** charak-
d. Den ersten Weg wählt man, wenn man
tücken von größerm Volumen zu thun hat,
mit den von Walzen zerquetschten, den
wenn man die Zerkleinerung behufs eines
schließens sehr weit hat treiben müssen, wie
r Regel durch Pochwerke geschieht.
le Aufbereitungsgang, repräsentirt durch die
it, beginnt nun damit, daß die zerkleinerten
urch eine Reihenfolge von beweglichen Sieben
ieden großen Siebmaschen nach ihrer Größe
er getrennt werden. Je nach der Größe
man diese Kornklassen als:

n,	wenn sie ungefähr	64—20 Millimeter
en,	» » »	16—6 »
	» » »	4—1 »
	» » »	1—0,25 »

r haben, theilt aber jede dieser vier Klassen
e vier bis fünf Unterabtheilungen. Der
at ist in der Regel unmittelbar neben oder
Zerkleinerungsapparat angeordnet und be-
Plansieben oder **Trommelsieben**, je
ie Siebe eben aufgespannt oder cylindrisch
e Siebe sind stets geneigt aufgestellt und
mit das abzusiebende Gut darüber hingleitet,
gt werden, was bei Plansieben durch Hin-
chieben oder Aufschlagen, bei Trommel-
h Drehen um eine geneigte Achse bewerkstelligt
enn die einzelnen größern oder kleinern Ge-
eines zu klassirenden Vorraths freiliegen,
gt das Sieben keinem Anstande, wohl aber
n der Vorrath fein ist und infolge davon
en Theile aneinander adhäriren, es noth-
eselben in einen frei beweglichen Zustand zu
das am leichtesten durch Auflösen in Wasser
en, **Abläutern**) erreicht wird. Man
dieses Abläutern dann, wenn es zur Noth-
wendigkeit wird, mit dem Sieben, indem man über
die Siebe einen Wasserstrom leitet oder die Siebe im
Wasser bewegt.

Die nach der Korngröße abgesonderten Erzstücke
unterliegen nun je nach ihrer Größe verschiedenen
Behandlungsweisen, welche aber alle bezwecken, aus
den Hauswerken von gleicher Größe die schwersten
und werthvollsten Gemengtheile abzuscheiden. Bei den
Stuffen erfolgt dies durch die sogenannte **Klaube-arbeit**, welche darin besteht, daß mittels der Hand
die metallischen und schwersten Stücke herausgesucht
und je nach ihrem Erzgehalt in verschiedene Sorten
sortirt werden. Die Graupen und den Gries unter-
wirft man der Setzarbeit, welche die Sortirung auf
mechanischem Wege bewerkstelligt. Taucht man nämlich
ein in einen Rahmen eingefaßtes Sieb, auf welchem
sich ein Gemenge gleichgroßer, aber verschieden dichter
Körper befindet, schnell einige Zoll tief unter Wasser,
so werden sämmtliche Körner nachsinken und sobald
sie das Sieb wieder erreicht haben, in ganz anderer
Weise als ursprünglich sich auf demselben angeordnet
finden. Die dichtesten Körner werden den minder
dichten voraus eilen und den Boden des Siebes zuerst
erreichen; die weniger dichten dagegen sich oben ab-
lagern; zwischen beiden Schichten findet natürlich ein
Uebergang in der Dichte statt. Je öfter man dieses
Eintauchen wiederholt, desto vollkommener geschieht
diese Trennung nach der Dichtigkeit, welche dann ein
schichtenweises Abheben der Körner mittels eines flachen
Bretchens oder Blechs gestattet. Die Setzsiebe, welche
man in diesem Falle Stauchsiebe nennt, enthalten die
auf- und niedergehende Bewegung entweder durch
Menschenkraft (Handsetzsiebe) oder durch Maschinen-
kraft (mechanische Setzsiebe). Ein mechanisches **Setz-sieb**, Taf. 5, Fig. 3, erhält die Bewegung durch eine
Daumenwelle, welche auf das eine Ende eines Hebels,
an dessen anderm Ende das Sieb mittels einer steifen
Stange aufgehängt ist, niederdrückend wirkt und daher
das Sieb auf der andern Seite hebt. Der Nieder-
gang des Siebes erfolgt durch das Uebergewicht des-
selben und kann die Geschwindigkeit durch Vermehrung
oder Verminderung des Ausgleichgewichts in dem
Kästchen auf dem vordern Theile des Hebels, sowie
durch die Form des niederdrückenden Daumens regulirt
werden. Hat man z. B. ein Gemenge von Bleiglanz
und Eisenkies neben einer quarzigen Gangart, so er-
hält man am Boden des Siebes eine Schicht reinen
Bleiglanz (spec. Gew. = 7,5), hierauf ein Gemenge von
Bleiglanz und Kies, dann reinen Kies (spec. Gew. = 5),
dann Kies mit Quarz gemengt und zu oberst reinen
Quarz (spec. Gew. = 2,5), welcher als unhaltige
Substanz (Berge) weggeworfen wird. Ist die Auf-
schließung durch das Zerkleinern eine vollständige ge-
wesen, so ist auch die Separation vollkommen erreicht
worden. Da jedoch ersteres nicht immer der Fall ist
und noch unvollständig aufgeschlossene Theile übrig-
bleiben, welche sich nach ihrem specifischen Gewichte
ebenfalls im Setzsiebe schichtenweise ablagern, so ist
es nothwendig, diese für sich abzuheben und einer noch-
maligen Zerkleinerung zu unterwerfen, welcher eine
wiederholte Separation folgt. Dagegen werden die
reinen Erzsorten, welche schmelzwürdig erscheinen, auf-
gesammelt und, wenn ein größeres Hauswerk beisammen
ist, nach vorheriger Zerkleinerung durch ein Trocken-
pochwerk zur Hütte abgeliefert. Die verschiedenen
Korngrößen haben aber nun auch verschiedene Mo-
dificationen der Arbeit im Gefolge, da von der Größe
des Kornes nicht allein die Weite des Siebes, sondern
auch die Zahl und die Höhe der Anhübe, die Höhe
der Erzschicht auf dem Siebe abhängig gemacht werden

muß, sodaß die Ueberwachung dieser Arbeit einen erfahrenen und intelligenten Mann verlangt. Der Betrieb der Setzarbeit in der beschriebenen Weise leidet aber an dem wesentlichen Mangel, daß dabei beständig Unterbrechungen vorkommen, da bei jedesmaligem Abheben des Setzgutes die Maschine außer Gang gestellt werden muß. Man ist daher bemüht, diesem Uebelstande zu begegnen dadurch, daß man Maschinen construirte, welche ein continuirliches Ableeren des Abhubes und des Setzerzes bewirken; derartige Maschinen sind in großer Anzahl angegeben und vielfach mit Vortheil in Anwendung gebracht worden. Nach diesem Verfahren bereitet man außer den durch Quetsch- und Walzwerke zerkleinerten Erzen auch das Grubenklein auf, welches jedoch von der vorausgehenden Zerkleinerung ausgeschlossen bleibt. Auch die Aufbereitung der Kohlen, auf welche bei den Brennmaterialien zurückgekommen wird, geschieht auf Grund dieses Verfahrens.

Das zweite Aufbereitungsverfahren, bei welchem man erst sortirt und dann klassirt, eignet sich insbesondere für die feinen Erzklassen, die Mehle, weil deren vorherige Absonderung nach der Größe durch Siebe Schwierigkeiten darbietet, welche mit der zunehmenden Feinheit des Kornes sich vermehren, während eine nachherige Klassirung leicht ausführbar ist. Die Mehle werden niemals trocken der Sortirung unterworfen, sondern mit Wasser angemengt, als Trübe, wie sie mit Hülfe der Naßpochwerke hergestellt, von den Siebapparaten des ersten Verfahrens als Durchfall durch die letzten Siebe oder beim Abläutern des Grubenkleins gewonnen wird. Die Sortirung der Trübe beruht nun darauf, daß in einem horizontalen Wasserstrome mit abnehmender Geschwindigkeit zuerst die Theile zu Boden fallen, welche das größte absolute Gewicht besitzen, sodann die weniger schweren, und endlich im fast ruhenden Strome auch selbst die leichtesten Mehle zum Absetzen gelangen. Um dies vollkommen zu erreichen, darf die Trübe nicht zu dick sein, damit die freie Beweglichkeit der einzelnen Theilchen nicht gehindert werde. Diese Ablagerung der einzelnen Gemengtheile geschieht in rinnenförmigen Kästen mit stufenweise zunehmendem Querschnitt, der sogenannten Mehlführung, aus welcher die einzelnen Mehlsorten mit einer Schaufel ausgeschaufelt (ausgehoben, ausgestochen) werden können. Die gröbsten Mehlsorten, welche sich am Haupte der Mehlführung absetzen, nennt man Häuptel, die feinern Schlieche und die feinsten Schmant. Um Unterbrechungen, welche beim Ausstechen der Mehlsorten aus der Mehlführung unvermeidlich sind, zu umgehen, muß man noch eine zweite Reihe solcher Kästen, eine zweite Mehlführung haben, in welche man die Trübe leitet, während man die Mehle aus der andern entfernt. Man kann jedoch diesem Uebelstande auch dadurch vorbeugen und zugleich die Arbeit des Aushebens ersparen, wenn man einen sogenannten Spitzkastenapparat benutzt, welcher mit der Ersparniß an Arbeit auch noch eine continuirliche Wirkung des Apparates verbindet. Dies wird dadurch erreicht, daß man den aufeinanderfolgenden Kästen der Mehlführung keinen horizontalen, sondern einen geneigten Boden gibt, und am tiefsten Punkte eine kleine Ausflußöffnung für die sortirten Mehle anbringt, welche, durch diese abgeführt, sofort der folgenden Separationsarbeit auf dem Herde zugeleitet werden können. Diese Apparate, mögen sie nun einen horizontalen oder geneigten Boden haben, sind in unmittelbarer Folge der Zerkleinerungsmaschinen, hier in der Regel der Naßpochwerke, anzulegen und zugleich in die nächste Nähe der Apparate zu bringen, mit welchen die nachfolgende Klassirungsarbeit vorgenommen werden soll. Taf. 5, Fig. 2 sehen wir einen Mann mit dem Ausheben des Mehls aus der Mehlführung beschäftigt, welche in unmittelbarer Nähe der Herde, denen die weitere Verarbeitung der sortirten Mehle obliegt, vorbeifließt.

Betrachtet man ein Gemenge von Gangart und Erztheilchen, wie es aus den einzelnen Kästen der Mehlführung ausgehoben worden ist, und das aus Theilchen von gleichem absoluten Gewichte bestehen soll, so ist unschwer einzusehen, daß ein solches Gemenge Theilchen von verschiedener Größe enthalten muß; es werden neben den groben Theilen von geringerer Dichtigkeit auch feinere von größerer Dichtigkeit sich vorfinden, welch letztere leicht durch ein einfaches Absieben gewonnen werden könnten. Eine derartige Absonderung läßt sich bei groben Mehlsorten halbwegs noch ausführen, während sie bei feinern wol kaum zu einem befriedigenden Resultate führen würde. Man benutzt deshalb zur Klassirung der eine und dieselbe Sorte von Mehl enthaltenden Trübe ein anderes Mittel, welches auf dem Verhalten der Mehle in einem dünnen Wasserstrome beruht. Läßt man nämlich Trübe, welche verschieden große aber gleich schwere Mehltheilchen enthält, über eine geneigte Ebene in sehr dünner Schicht fließen, so wird das Wasser die leichtern, gröbern Mehltheilchen, welche vom Wasser wegen ihrer Größe stärker gestoßen werden als die kleinern und dichtern, fortreißen, während die feinern Theilchen, gewissermaßen an der geneigten Ebene haftend, der Einwirkung des Wasserstroms widerstehen und demgemäß auf der geneigten Ebene zurückbleiben. Diese Art der Absonderung nach der Größe nennt man Schlämmen oder Waschen, und die dazu benutzten Apparate Waschherde. Auf diese Waschherde gelangt nun die durch die Mehlführung sortirte Trübe sofort und continuirlich zufließend aus dem Spitzkastenapparat, oder, wenn man sie in nassem Zustande aus den Mehlführungen gewonnen hat, nachdem sie vorher mit Wasser angemengt oder aufgelöst worden ist. Zu diesem Zwecke dienen Apparate, welche man Gumpen nennt, und deren einfachste Form in Fig. 2 als ein Kasten mit Wasserzufluß dargestellt ist, an welchem ein Arbeiter mit Anmengen des nassen Mehles mit Wasser sich beschäftigt. Die Zahl der Herde, mit welcher man das Verwaschen der Mehlsorten vornehmen kann, ist sehr groß; sie sind entweder feststehende, wie der liegende Herd, Schlämmherd, Schlämmgraben, Kehrherd, oder bewegliche: Stoßherd, Drehherd. Der am häufigsten zur Anwendung gelangende ist der Stoßherd, den wir Fig. 2 abgebildet finden. Die geneigte Herdebene desselben ist durch Aufhängen an Ketten beweglich gemacht und erhält während des Darüberleitens der Trübe beständig Stöße, durch welche die am Herde zurückbleibenden Mehle sich dichter aneinanderdrängen und eine compacte Masse bilden. Die Stöße erfolgen von einer Welle aus durch Däumlinge, die gegen einen Hebel und durch diesen mittels einer Schubstange auf einen Kloß wirken. Nach vollendetem Ausschub fällt der Herd gegen einen Prellkloß zurück, wodurch der eigentliche Stoß verursacht wird. Ein Haupterforderniß ist hierbei, daß die Trübe auf den Herd in regelmäßigem Strome und gleichmäßig auf der ganzen Breite vertheilt zufließt, was durch eine besondere Vorrichtung oberhalb des Herdes hervorgerufen wird. Es besteht dieselbe aus einem geneigten Bret, Happenbret oder Theiltafel genannt, auf welcher die in schmalem Strome zufließende Trübe sich gleichmäßig ausbreitet. Ist die Erzmenge am Kopfe des Herdes

[illegible]

... wohl mit großer ... [illegible] ... Beute ... [illegible] ..., welche mittelst der bekannten [illegible] geleitet wird, werden die [illegible] gereinigt und zuletzt die am [illegible] Erztheilchen durch einen starken [illegible] entfernt und in Rinnen aufgefangen, [illegible] Vollendung einer Umtreibung [illegible] Aufnahme neuer Trübe bereit ist. Der [illegible] continuirlichen [illegible] liegt das gleiche [illegible], nur wird das, was bei den [illegible] durch die Drehung, hier durch den [illegible], welcher die Tafel senkrecht zu ihrer Falllinie erhalten, erreicht.

Die Aufbereitung der Erze wird in der Gegenwart [illegible] Aufmerksamkeit gewidmet, und namentlich [illegible], wo es sich um die Aufbereitung großer Massen geringhaltiger Erze handelt, ist man zu ganz bedeutenden Verbesserungen gelangt, welche durch die Fortschritte im Maschinenbauwesen eine wesentliche [illegible] gewonnen haben. Es zeichnen sich in dieser Beziehung unter andern die großartigen Aufbereitungswerkstätten zu Klausthal am Harz, zu Pribram in Böhmen, allgemein die des Rheinlandes und Oesterreichs, welches letztere durch den hochverdienten Rittinger seine Aufbereitung auf einen hohen Grad der Vollkommenheit gebracht hat. Welche Rührigkeit übrigens auf diesem Felde herrscht, beweist der Umstand, daß nicht wenige Maschinenwerkstätten einzig und allein sich mit dem Bau von Aufbereitungsmaschinen beschäftigen, unter denen die Hütte Humboldt in Kalk bei Deutz die erste Stelle einnimmt, da sie viel zur Ausbildung und Förderung des Aufbereitungswesens beigetragen hat.

II. Brennmaterialien.

Bevor zur Beschreibung der eigentlichen metallurgischen Arbeiten geschritten werden kann, erscheint es nothwendig, über die Materialien, welche zur Erzeugung der für die metallurgischen Processe unumgänglich nothwendigen Wärme dienen, einiges voraus zuschicken. Die **Brennmaterialien**, deren Lehre in der Metallurgie ein Kapitel von der größten Wichtigkeit bildet, entstammen entweder dem Pflanzenreich, wie das Holz, oder dem Mineralreich (Torf, Braunkohle, Steinkohle), und werden entweder roh verwendet, oder vorher durch Erhitzen bei mehr oder weniger Luftzutritt in die zweckmäßigste Form gebracht. Durch diese Behandlungsweise erhält man einerseits brennbare Gase, und andererseits verkohlte Brennmaterialien, wie Holzkohle und Coaks.

Die rohen Brennmaterialien bestehen wesentlich aus [illegible] in den mannichfaltigsten [illegible], die verkohlten fast [illegible]. [illegible] den genannten Bestandtheilen [illegible] Brennmaterialien [illegible], welche bei der Verbrennung [illegible] genannt werden. [illegible] hauptsächlich das [illegible]gas, oder ein [illegible] Erhitzen der rohen [illegible] zuzuführung dargestellt [illegible] finden.

[illegible] bei Abschluß der [illegible] erhitzt, so entstehen [illegible] die Atome der einzelnen [illegible] chemischen Verwandtschaft [illegible] verbindet sich der Sauerstoff mit dem Wasserstoff zu Wasser, und dann [illegible] mit Kohlenstoff zu [illegible] oder zu Kohlenwasserstoff, welche Verbindungen theils als brennbare Gase entweichen, theils sich als [illegible] (Theer, Essigsäure u. s. w.) [illegible]. Sauerstoff und Wasserstoff sind jedoch nie in der Menge in einem Brennmaterial enthalten, daß sämmtlicher Kohlenstoff in gasartige Verbindungen verwandelt wird, vielmehr bleibt stets ein Theil desselben als Kohle mit den die Asche bildenden Gemengtheilen zurück. Die Gewinnung dieser Kohle ist der Zweck des Verkohlens im Großen, welches auf dem Processe der trockenen Destillation beruht.

Erhitzt man dagegen irgendein festes Brennmaterial mit atmosphärischer Luft, so entwickelt es ebenfalls Gase, welche Sauerstoff aus der Luft absorbiren, und verbrennt, sodaß es bis auf die Asche verschwindet. Die Verbrennung des Brennstoffs ist vollständig erfolgt, wenn der Zutritt der atmosphärischen Luft so geregelt worden ist, daß die Verbrennungsproducte nur Wasser und Kohlensäure, also keine einer höhern Oxydation fähigen Körper und auch so wenig als möglich überschüssige Luft enthalten. Die Erscheinungen bei dieser Verbrennung sind aber verschieden, je nach der Zusammensetzung des Brennmaterials; es verbrennt dasselbe entweder mit Flamme, oder ohne Flamme. Diejenigen, welche verhältnißmäßig viel Wasserstoff enthalten und brennbare Gase entwickeln, verbrennen mit Flamme, wie Holz, Torf, Braun- und Steinkohle, wogegen diejenigen ohne Flamme verbrennen, welche frei von Wasserstoff sind, wie Holz- und Torfkohle und die verkohlte Braun- und Steinkohle. Es hängt daher die Flammbarkeit von dem Gehalte an Wasserstoff ab, der mit Kohlenstoff brennbare Gase erzeugt, welche Eigenschaft nicht zu verwechseln ist mit der Brennbarkeit, d. h. der Leichtigkeit, mit der sich der Brennstoff entzündet und die mit seiner zunehmenden Dichtigkeit abnimmt.

Von großer Wichtigkeit ist für die Beurtheilung der Güte und des Werthes eines Brennmaterials die Ermittelung seines Wärmeeffectes, d. h. der bei der vollständigen Verbrennung desselben entwickelten, ihrer Menge und ihrem Grade nach gemessenen Wärme. Diese Wärmemenge läßt sich zwar absolut nicht bestimmen, jedoch kann man ermitteln, welche Gewichtsmenge Wassers von 0 Grad durch die gesammte Verbrennungswärme eines Gewichtstheiles Brennmaterial bei vollständiger Verbrennung bis 100 Grad erhitzt wird. Man hat hiernach gefunden, daß z. B.:

1 Gewichtstheil	Wasserstoffgas	236	Theile	Wasser
1 »	Holzkohle	75	»	»
1 »	Steinkohle	60	»	»
1 »	Holz	36	»	»

von 0 auf 100 Grad erwärmt. Diese Zahlen bilden die Grundlage für die Angabe des sogenannten absoluten Wärmeeffectes. Es ist aber auch oft zu wissen nothwendig, welchen Grad der Temperatur bei vollständiger Verbrennung ein Brennmaterial hervorbringt, damit man seine Anwendbarkeit zu dem oder jenem Proceß beurtheilen kann. Diesen Temperaturgrad nennt man den pyrometrischen Wärmeeffect, der am annäherndsten durch Rechnung zu finden ist, da dessen Bestimmung durch die sogenannten Pyrometer, das sind Thermometer für hohe Temperaturen, schwierig auszuführen und wegen Mangelhaftigkeit der Instrumente unzuverlässig ist.

Betrachten wir kurz noch die einzelnen Brennmaterialien, und zwar zuerst die rohen, so liegt uns am nächsten das Holz. Obgleich die chemische Beschaffenheit der Holzfaser verschiedener Holzarten fast ganz gleich ist, so sind doch die letztern rücksichtlich ihrer Wärmeeffecte sehr voneinander abweichend, weil die Structur des Holzes eine sehr verschiedene ist. Zwischen den langen parallel nebeneinanderliegenden Fasern befinden sich mehr oder weniger große Räume, welche die Circulation des Saftes während des Wachsthums vermitteln und deren Größe die geringere oder größere Dichtigkeit bedingt, von welcher letztern wiederum der Werth des Holzes abhängig ist. Die Menge der zwischen den Fasern befindlichen Flüssigkeit, des Saftes, ist nicht unbedeutend und schwankt von 27 Proc. bei harten Holzarten bis zu 48 Proc. bei weichen. Dieser hohe Gehalt an Saft gibt Veranlassung dazu, daß man Holz zum Verbrennen nie frisch gefällt benutzt, sondern vorher austrocknet, entweder durch Liegenlassen an der Luft oder durch künstliche Mittel. Auf erstern Wege kann man den Wassergehalt des Holzes bis auf 15—20 Proc. abmindern, während man im Stande ist durch das sogenannte Darren den Wassergehalt vollständig zu entfernen. Wendet man das Holz zu Siede- und Röstfeuern an, so genügt es, dasselbe lufttrocken zu verwenden, wogegen es zur Hervorbringung hoher Hitzgrade, wie sie beim Eisen- und Glasschmelzen erforderlich sind, unbedingt nothwendig wird, das Holz zu darren. Zum Darren benutzt man in der Regel die von den Schmelzöfen verloren gehende Hitze.

Wird Holz der trockenen Destillation unterworfen, d. h. in einem verschlossenen Raume erhitzt, so entwickelt sich zunächst das hygroskopisch als Feuchtigkeit enthaltene Wasser; hierauf entweichen Gase, und zwar anfänglich Kohlensäure, alsdann Kohlenoxydgas; gleichzeitig mit diesen entwickeln sich jedoch auch Kohlenwasserstoffverbindungen, welche theils gasartig, theils zu Flüssigkeit verdichtet auftreten. Die Producte dieser trockenen Destillation sind sowol nach Qualität als auch nach Quantität sehr verschieden, je nachdem die Erhitzung rasch oder langsam vorgenommen wird. Im ersten Falle sind die Producte reicher an brennbaren Gasen als im letztern, was selbstverständlich einen Einfluß auf das Ausbringen an Holzkohle haben muß, sodaß man bei rascher Verkohlung oft nur die Hälfte der Kohlen als Rückstand erhält, welche bei langsamer Destillation erlangt worden wären. Bei Bereitung der Holzkohlen muß man daher eine möglichst niedrige, nur gegen das Ende allmählich gesteigerte Hitze anwenden, damit man wenig Kohlenstoff in den sich bildenden Gasen und Flüssigkeiten verliert. Im Großen erfolgt die Verkohlung des Holzes in den sogenannten Meilern, in welchen das Holz unter einer Decke von Erde, welche nach der Verkohlung wieder abgenommen wird, der trockenen Destillation unterworfen wird; die dazu nöthige Hitze entwickelt man durch unvollständige Verbrennung eines Theils des zu verkohlenden Holzes, und verfährt dabei ungefähr auf folgende Weise.

Zunächst wählt man sich für die Anlage des Meilers einen Platz (Meilerstätte, Kohlstätte), welcher für das Holz eine bequeme Anfuhr und die Holzkohlen eine leichte Abfuhr gestattet, ziemlich eben und vor heftigen Winden und Regen geschützt ist, außerdem aber auch in seiner Nähe Rasen, Erde und Wasser in genügender Menge darbietet. Auf dieser geebneten, von Rasen und Steinen gereinigten Kohlstätte schlägt man zuerst im Mittelpunkte drei Pfähle, die sogenannten Quandelpfähle ein, um welche man das Holz in concentrischen Reihen aufstellt, und zwar so, daß die Scheite nach dem Quandelschachte zu geneigt stehen. Auf diese unterste Schicht kommt eine zweite und oft eine dritte, je nach der Größe die man dem Meiler geben will. Diese Arbeit, genannt das Richten des Meilers, verrichtet der im Vordergrunde der Fig. 4, Taf. 5, beschäftigte Arbeiter. Den obersten Theil des Meilers, welchen man den Kopf oder die Haube nennt, bildet man aus horizontal liegenden Scheiten oder aus Astholz und rundet ihn kuppelförmig ab. Den durch die Quandelpfähle gebildeten prismatischen Raum, Quandelschacht genannt, füllt man hierauf mit Spänen und trockenem klaren Holze, worauf man den Meiler abdeckt. Unmittelbar auf die Holzscheite wird erst eine Decke von Rasen, Moos und Laub, und auf diese dann eine von Erde gegeben, welche man durch leichtes Schlagen fest macht. Ist das Abdecken vollendet, so schreitet man zum Anzünden des Meilers im Quandel, entweder von oben oder von unten durch eine am Fuße des Meilers von außen nach dem Quandel führende Zündgasse. Brennt der Meiler, so kommt es nun besonders darauf an, das Feuer ganz gleichmäßig vom Kopf bis zum Fuß zu leiten, ohne daß ein wirkliches Verbrennen entsteht, alles Holz aber verkohlt wird. Man erreicht dies, indem man mit einer Stange, dem sogenannten Schürbaum, besondere Zuglöcher durch die Decke stößt, erst in der Nähe des Fußes und dann in der halben Höhe. Diese Arbeit verrichtet der im Hintergrunde um den Meiler beschäftigte Köhler. Haben die sich in der ersten Periode entwickelnden Dämpfe, Wasser und wässeriger Rauch durch diese Löcher ihren Abzug gefunden, so werden sie wieder geschlossen, worauf bei gänzlichem Abschluß der Luft die innere Glut die Verkohlung des Holzes bewirkt. Bemerkt man nun ein gleichmäßiges Zusammensinken des Meilers, so öffnet man wieder die Zuglöcher und läßt sie so lange offen, bis das Feuer aus den Löchern am Fuße des Meilers hervortritt, ein Zeichen, daß das Holz verkohlt, der Meiler gar ist. Dann erstickt man denselben, indem man die Decke mit Erde bewirft, und läßt ihn abkühlen, um nach Verlauf von ein bis zwei Tagen die Kohlen aus demselben zu ziehen, welche leicht mit Wasser abgelöscht werden. Der ganze Verkohlungsproceß vom Anzünden bis zum Garwerden beansprucht, je nach der Größe des Meilers, 8—14 Tage, während welcher Zeit man einen neuen Meiler zum Anzünden vorgerichtet hat. Man legt deshalb eine Meilerstätte so an, daß auf derselben Raum für zwei Meiler ist, von denen einer aufgerichtet wird, während der andere brennt. Außer diesem Verfahren der Holzverkohlung ist es auch üblich, lange Haufen, sogenannte liegende Meiler aufzustellen, wie dies in Steiermark, Rußland und Schweden gebräuchlich ist. Gilt es jedoch, die flüssigen Destillationsproducte, Holzessig und Theer, zu gewinnen, so nimmt man die Verkohlung in Oefen vor, welche durch besondere Heizung geheizt werden. In solchen Oefen, welche, ähnlich den Backöfen, kuppel-

artig gewölbt sind, ist man jedoch nicht im Stande, eine bessere Kohle als in Meilern zu erzeugen. Eine gute Kohle, **Schwarzkohle**, muß einen muscheligen Bruch zeigen, glänzen, von bläulich schwarzer Farbe sein und hell beim Anschlagen klingen; unvollkommen verkohlte hat mehr oder weniger braunrothe Farbe und heißt **Rothkohle**.

Von den dem Mineralreiche entstammenden Brennmaterialien bildet den Uebergang zu den Brennstoffen des Pflanzenreichs der **Torf**, der das Product der Verwesung von Vegetabilien, namentlich Sumpfpflanzen ist. Er findet sich in mächtigen Lagern und wird aus den Mooren entweder unmittelbar in ziegelförmigen Stücken ausgestochen (Stechtorf), oder infolge seiner breiartigen Beschaffenheit in Formen gestrichen und getrocknet (Streichtorf), oder wol auch durch Pressen von dem überschüssigen Wasser getrennt (Preßtorf). Die Güte des Torfs, der einen durchschnittlichen Gehalt von ungefähr 45 Proc. Kohlenstoff besitzt, ist sehr verschieden und wird, wie bei dem Holz durch Trocknen und Darren verbessert. Bei letzterm Verfahren verliert derselbe ungefähr 40 Proc. seines Gewichts, meist Wasser, und ist dann ein geschätztes Brennmaterial für mehrere hüttenmännische Arbeiten, wie z. B. das Puddeln des Roheisens. Lufttrocken wendet man ihn gern an zur Feuerung von Kesseln und Siedepfannen, zuweilen auch zum Abtreiben des Silbers, und bewährt sich sein Gebrauch bei allen Processen, bei denen eine mäßige ununterbrochene Hitze erfordert wird. Ebenso wie das Holz kann man auch den Torf der trocknen Destillation unterwerfen und dabei eine Kohle (Torfkohle) gewinnen, welche zu Schmelzprocessen verwendbar ist. Man nimmt die Verkohlung vor entweder in Meilern oder in Oefen, und erhält, namentlich wenn man den Torf vorher durch Pressen dicht gemacht hat, eine vorzügliche dichte Kohle von hohem Wärmeeffect.

Die **Braunkohle**, welche sich in bedeutenden Ablagerungen in den neuern Gebirgsformationen, namentlich in den tertiären Gebilden vorfindet, unterscheidet sich wenig durch ihre Eigenschaften von den Steinkohlen. Es ist dieselbe nicht mit Unrecht eine unfertige Steinkohle genannt worden. Sie verdankt ihren Namen der mehr oder weniger dunkelbraunen Farbe und zeigt sehr häufig noch die Structur derjenigen Pflanzen, aus denen sie sich gebildet hat. Man bezeichnet eine solche Braunkohle als faserige Kohle oder **Lignit**, während man sie erdig nennt, wenn sie viel erdige Substanzen enthält, oder Pechkohle, wenn sie in ihrem Aussehen der Steinkohle sehr nahe kommt und bei brauner oder schwarzer Farbe einen muscheligen Bruch zeigt. Sie ist ein höchst werthvolles und geschätztes Brennmaterial, welches in seinem Wärmeeffect dem der Steinkohlen ganz nahe kommt und sich vor vielen Sorten der letztern besonders durch große Flammbarkeit auszeichnet. Lufttrocken enthält sie ungefähr 70 Proc. Kohlenstoff und wird in diesem Zustande zu Feuerungen verwendet, welche keine sehr große Hitze verlangen. Trotz des nicht ganz unbedeutenden Heizungsvermögens ist die Braunkohle zur Erzeugung von starken Hitzegraden nicht anwendbar, weil wegen ihrer großen Flammbarkeit die Flamme sich zu sehr ausbreitet und die Wärme dadurch zu schnell zerstreut wird. Besonders aber findet sie Anwendung zur Darstellung von gasförmigen Brennmaterialien, in welcher Beziehung sie nicht hoch genug geschätzt werden kann. Zur Verkohlung besitzen die Braunkohlen nicht die erforderlichen Eigenschaften, da die daraus dargestellten Kohlen sehr spröde und leicht zerbröcklich sind. Geschieht die Verkohlung, so wird sie nur in Oefen vorgenommen.

Diejenigen Kohlensorten, welche älter als die tertiären Gebilde sind, nennt man im allgemeinen Steinkohlen; sie finden sich vorzugsweise in der sogenannten Steinkohlenformation in mehr oder weniger ausgedehnten Flötzen und unterscheiden sich von den Braunkohlen dadurch, daß sie auf einen rauhen Körper aufgestrichen einen schwarzen Strich zeigen, während die Braunkohle einen braunen gibt. Nach ihrer Structur unterscheidet man als besondere Sorten **Pechkohle** mit starkem Fettglanz und muscheligem Bruch, **Rußkohle** mit geringem Glanz und feinerdigem Bruch, **Schieferkohle** mit unebenem Bruch und großer Neigung zur schieferigen Absonderung. Eine vierte Varietät ist der **Anthracit**, welcher in den obern Schichten des Uebergangsgebirgs gefunden wird und durch äußere Einflüsse eine Zersetzung erlitten hat, die ihn spröde gemacht und aller vegetabilischen Structur beraubt hat. Anthracit besitzt eisenschwarze Farbe und metallischen Glanz und verbrennt, da er durch jene Zersetzungen seine früher mit Kohlenstoff verbundenen Gasarten verloren hat, nur mit schwacher Flamme. Nach ihrem Verhalten im Feuer theilt man die Steinkohlen in **Sandkohlen**, **Sinterkohlen** und **Backkohlen**, je nachdem dieselben in der Hitze zusammenbacken, sintern oder locker bleiben, welches Verhalten durch ihre verschiedene chemische Zusammensetzung bedingt ist. Der Gehalt der Steinkohlen an Kohlenstoff schwankt meist zwischen 70 und 90 Proc. neben einem Aschengehalt von 1—25 Proc. Es leuchtet ein, daß die Güte der Steinkohlen eine sehr verschiedene sein kann und daß deren Brauchbarkeit zu gewissen hüttenmännischen Processen dadurch bedeutend beeinflußt werden kann. Namentlich ist es ein Gehalt an Asche, welcher eine sonst gute Kohle unbrauchbar machen kann, weshalb man sich bemüht, diesen zu verringern, indem man gewisse aschenreiche Kohlensorten einer Aufbereitung unterwirft, welche zum Zweck hat, die die Kohle durchwachsenden schieferigen Gebirgsarten (Schören) soviel als möglich zu entfernen. Man erreicht dies dadurch, daß man die unreinen Kohlen durch Walzen oder Mühlen zerkleinert und dann einer Separation unterwirft, welche auf ähnliche Weise wie die Setzarbeit bei der Erzaufbereitung vorgenommen wird. Die zerkleinerten Kohlen werden durch Siebe in mehrere Kornklassen getrennt und dann jede derselben für sich auf meist continuirlichen Setzmaschinen gesetzt. Hierbei liegt es jedoch in der Natur der Sache, daß die werthvollen Theile, die Kohlen, als die leichtern Gemengtheile die obere Schicht auf dem Setzsiebe bilden, während die schwerern Gebirgsarten auf dem Boden des Siebes verbleiben. Solche aufbereitete Kohlen kommen unter dem Namen Waschkohlen in den Handel und werden je nach der Größe der Stücke als Knorpel-, Nuß- und Kleinkohle angeboten.

Anwendung finden die Steinkohlen hauptsächlich beim Rösten der Erze, beim Schmelzen im Flammenofen, bei Siedefeuerungen u. s. w. Man verbraucht sie in der Regel in faustgroßen Stücken, die, will man die Steinkohlen überhaupt mit Vortheil anwenden, auf einem Roste, dessen Weite durch den Aschengehalt der Kohlen bestimmt wird, nicht zu hoch aufgeschüttet und verbrannt werden. Die Führung einer rationellen Steinkohlenfeuerung ist überhaupt nicht leicht und verlangt Rücksichtnahme auf eine Menge von Umständen. Der Rost muß vor allem nicht zu eng, der Luftzug nicht zu schwach sein; die Kohlen dürfen nicht zu hoch übereinanderliegen, ferner darf auch nicht versäumt werden, in regelmäßigen Zeitabschnitten Kohlen aufzuschütten, und endlich ist auf die Abwartung des Rostes das Augenmerk zu richten, welcher

öfteres Reinigen, Auflockern und Zerstoßen des zusammenbackenden Brennmaterials u. s. w. beansprucht.

Durch die trockene Destillation stellt man sich aus den Steinkohlen den Coak dar, dessen außerordentliche Nutzbarkeit einen Betrieb in sehr großem Maßstabe hervorgerufen hat. Zur Vercoakung eignen sich vorzüglich die Steinkohlen, welche bei geringem Aschengehalte zwischen Sinter- und Backkohlen stehen und zwar in jeder Größe, als Stückkohlen sowol als auch als Klarkohlen. Der Vorgang bei der Vercoakung der Steinkohlen ist ganz analog dem bei der Verkohlung des Holzes, und nur insofern verschieden, als die Zusammensetzung der Brennmaterialien nicht dieselbe und die Temperatur bei der Vercoakung eine höhere ist. Der Coak hat bei einem mittlern Aschengehalte von 3—5 Proc. einen Gehalt an Kohlenstoff von 85—90 Proc., besitzt eine eisengraue Farbe, poröses Ansehen und fast metallischen Glanz und ist schwerer entzündlich als alle andern Brennmaterialien.

Die Vercoakung im Großen nimmt man nun in Meilern, Haufen oder in den Coaköfen, deren ursprüngliche Form einem gewöhnlichen Backofen gleicht, vor. In den Meilern kann man nur Kohlen in Stücken verwenden, während in Oefen auch klare Kohlen und Staubkohlen, sobald sie nur von Backkohlen herrühren, durch deren backende Eigenschaft größere Stücken von Coak sich bilden, vercoakt werden können. Da man für Stückkohlen nie um den Absatz verlegen sein wird, benutzt man fast lediglich die Staub- und Klarkohlen zur Vercoakung, und führt diese in Oefen aus, von denen uns Taf. 5, Fig. 5 einige vorgeführt sind. Diese Coaksöfen, deren mehrere stets in einer Reihe nebeneinanderstehen, bestehen aus tunnelartigen gewölbten Räumen mit zwei einander gegenüberliegenden Thüren, deren Größe dem Querschnitt des Ofenraums gleich ist. In diesen Raum, welcher von der vorher beendeten Arbeit noch dunkel rothglühend ist, schüttet man die klaren Kohlen von oben hinein, breitet sie, so gut es angeht, mit einem kratzenartigen Instrument aus, schließt dann alle Oeffnungen bis auf die für die entweichenden Gase bestimmten Oeffnungen und überläßt die Kohlen zuerst der im Ofen noch von vornherein befindlichen Hitze. Zur Fortführung und zur Beendigung des Processes erzeugt man die nöthige Hitze durch Verbrennung der gasförmigen Destillationsproducte innerhalb des Ofens, indem man Luft von außen zuführt. Man beendet den Proceß, wenn sich eine leichte Flugasche in den entweichenden Gasen zeigt und die nöthige Temperatur, eine dunkle Rothglühhitze, erreicht worden ist. Hierauf wird der Coak noch glühend aus dem Ofen entfernt und mit Wasser abgelöscht. Da das Entleeren möglichst rasch gehen muß, damit der Ofen nicht zu sehr sich abkühlt und der Coak nicht verbrennt, benutzt man maschinelle Vorrichtungen welche die Coakmasse auf einmal aus dem Ofen entfernen. An einer solchen Vorrichtung ist auf Fig. 5 ein Arbeiter beschäftigt. Mittels einer starken eisernen Platte, die in Verbindung mit einer gezahnten Stange, mit Hülfe eines Zahnrades und durch einen Vorgelegemechanismus horizontal hin- und herbewegt werden kann, wird die Füllung des Ofens aus demselben entfernt, indem die Platte in und durch den Ofen von einem Ende zum andern geschoben wird. Dieser Apparat ist so aufgestellt, daß er für alle in einer Reihe aufgestellten Oefen gebraucht werden kann, da er vor der Front derselben auf Schienen hin- und herbewegt wird. Nach dem Entleeren wird der Ofen sofort wieder mit frischen Steinkohlen gefüllt und es kann eine neue Charge beginnen, deren Zeitdauer abhängig ist von der in den Ofen gebrachten Kohlenmenge. Ungefähr bedarf man in solchen Oefen alter Construction für 1 Kubikmeter Kohlen 20—24 Stunden Zeit. Wie schon oben angegeben, findet die Beendigung des Vercoakungsprocesses dadurch statt, daß die gasförmigen Destillationsproducte innerhalb des Ofens verbrennen. Die Einwirkung dieser Verbrennung auf die unterhalb befindlichen Kohlenmassen ist aber jedenfalls eine sehr unvollständige, da die meiste Hitze unmittelbar aus den Oefen durch die Esse abzieht und verloren geht, wobei die Kohlenmasse außerdem einer sehr ungleichmäßigen Hitze ausgesetzt und ein Verbrand an fester Kohle unvermeidlich ist. Um diese Nachtheile zu heben, hat man neuerdings die Oefen nicht sehr groß construirt und mehrere zu einem System vereinigt, welche Anordnung gestattet, daß man Sohle und Seitenwände eines Ofens durch verlorene Wärme erhitzen kann. Man führt die durch die trockene Destillation erzeugten Gase unter der Sohle und zwischen den Seitenwänden der Oefen hin, läßt sie dort verbrennen und leitet sie dann in eine gemeinsame Esse. Man erreicht dadurch eine vollständige Ausnutzung der Wärme, eine gleichmäßige Erhitzung der Kohlen und ein höheres Ausbringen an Coak. Die Ausbeute an Coak ist eine sehr verschiedene und ist abhängig vom langsamen oder raschen Verlauf des Processes. Dem Gewicht nach beträgt die Ausbeute ungefähr 60—80 Procent, wogegen dem Volumen nach dieselbe durchschnittlich eine Höhe von 150—160 Procent erreicht. Dieses Zunehmen an Volumen hängt damit zusammen, daß die backenden Kohlen in der Glühhitze in einen teigartigen Zustand gerathen und die aus dieser breiartigen Masse entweichenden Gase ein Auftreiben und die blasige Structur hervorrufen.

Die gasförmigen Brennmaterialien, deren bereits oben kurz gedacht worden ist, werden aus den festen Brennmaterialien durch unvollkommene Verbrennung dargestellt und sind vorzüglich die noch einer höhern Orydation fähigen Verbindungen Kohlenoryd und Kohlenwasserstoff. Man erzeugt sie in besonders dazu construirten Oefen (Generatoren), oder benutzt sie da, wo sie unverwerthet aus den Heizapparaten abziehen, wie z. B. aus den Eisenhohöfen (Gichtgase). Die Erzeugung solcher Gasgemenge in Generatoren hat man trotz mancher sich darbietenden Schwierigkeit unermüdlich verfolgt und sie für besonders wichtig gehalten dann, wenn sie die Verwendung eines sonst nutzlosen oder doch wenig nutzbaren Brennmaterials gestattet, wie z. B. Holz- und Braunkohlenabfälle. Diese verbrennt man in Generatoren durch einen mäßigen Luftstrom nur so weit, daß die entweichenden Gasarten reich an Kohlenoryd und Kohlenwasserstoff sind, welches Gemenge dann in Röhren oder Kanälen dem eigentlichen Heizungs- oder Verbrennungsraum zugeleitet werden muß. Auf diesem Gebiete hat man in der Neuzeit bedeutende Fortschritte gemacht, an denen die Namen der berühmtesten Chemiker und Ingenieure, wie Bunsen, Ebelmen, Siemens u. s. w. ihren Antheil besitzen.

III. Hüttenprocesse.

Die Trennung der Bestandtheile eines Erzes, soweit diese auf mechanischem Wege möglich war, ist durch die Aufbereitung vollzogen worden, und da zur weitern Abscheidung die mechanischen Hülfsmittel nicht mehr ausreichen, müssen die chemischen Processe zu Hülfe genommen werden, welche für diesen bestimmten Zweck Hüttenprocesse genannt werden. Man versteht demnach unter Hüttenprocessen diejenigen chemischen Processe, nach denen die Darstellung der Metalle im

Großen erfolgt. Diesen werden die Erze, nachdem sie durch die Aufbereitung in ihrem Gehalte an nutzbaren Metallen angereichert worden sind, überwiesen. Bevor die Erze jedoch den eigentlichen hüttenmännischen Operationen unterworfen werden, ist es nöthig, daß sie einer Untersuchung, einer chemischen Analyse unterzogen werden, welche bezweckt, den Gehalt an nutzbaren Metallen zu ermitteln, welcher nicht allein für die zu leistende Bezahlung, sondern auch dem Hüttenmann für seine Rechnungen und wirthschaftlichen Abschlüsse als Grundlage dienen soll. Diese Analysen fertigt man an mit einer dem gewogenen Erzvorrath (Posten) entnommenen kleinen Menge (Probe), welche der Zusammensetzung des größern Haufens entsprechen soll, und nennt diese Art des Analysirens, welche sich auf die Bestimmung einzelner Bestandtheile beschränkt, **Probiren**. Die Methoden des Probirens werden in einer besondern Lehre, der **Probirkunst**, gelehrt und weichen von den Methoden der analytischen Chemie mehr oder weniger ab; sie entsprechen häufig dem Verfahren, welches man mit den Erzen im Großen vorzunehmen gedenkt und werden daher meist mit Hülfe von Schmelzungen ausgeführt, wobei Gelegenheit gegeben ist, auf das Verhalten der Erze bei der spätern Verarbeitung zu schließen. Ist die Probe gefertigt, so werden die einzelnen Erzposten nach bestimmten Verhältnissen, die durch die Erfahrung festgestellt sind, zu größern Haufwerken zusammengemengt (gattirt) und nun erst den eigentlichen Hüttenprocessen überwiesen (vorgelaufen).

Die chemische Einwirkung zweier oder mehrerer Körper aufeinander kann nur dann vollständig erreicht werden, wenn den einzelnen Theilen recht viel Gelegenheit zu gegenseitiger Berührung geboten wird und wenn eine recht innige Mengung derselben stattfindet. In einen solchen Zustand, der entweder ein tropfbar flüssiger oder ein gasförmiger sein kann, müssen die den Hüttenprocessen unterworfenen Erze nun ebenfalls gebracht werden, weshalb man die zu verarbeitenden Materialien hoher Temperatur aussetzt, sie also feurig flüssig oder gasförmig macht, oder sie mit wässerigen Flüssigkeiten behandelt und dadurch sie selbst oder einen Theil derselben in wässerig flüssigen Zustand versetzt. Je nachdem man das eine oder das andere Mittel benutzt, trennt man die Hüttenprocesse in solche

1) auf **trockenem Wege** und
2) in solche auf **nassem Wege**.

Man vermag jedoch auch chemische Veränderungen in den Erzen schon hervorzubringen, wenn man sie in festem, aber gehörig fein zerkleinertem Zustande in der Hitze der Einwirkung gewisser Gasarten aussetzt, weshalb die Hüttenprocesse auf trockenem Wege nicht unbedingt den feurig-flüssigen Zustand voraussetzen. Durch eine einzige metallurgische Operation den Zugutemachungsproceß zu beendigen, gelingt fast niemals, vielmehr ist, namentlich wenn mehrere nutzbare Metalle in den Erzen enthalten sind, eine Reihenfolge von Operationen erforderlich, um den Zweck vollständig zu erreichen.

Die Hüttenprocesse lassen sich nun in folgende Abtheilungen bringen:

1) Hüttenprocesse auf trockenem Wege:
   a) Rösten,
   b) Schmelzen,
   c) Sublimiren und Destilliren,
   d) Saigern und Krystallisiren.
2) **Hüttenprocesse auf nassem Wege:**
   a) **Amalgamiren,**
   b) **Auflösen und Fällen.**

1. Das Rösten.

Unter **Rösten, Brennen, Zubrennen** von Erzen versteht man das Erhitzen derselben bis zu einer Temperatur, welche den Schmelzpunkt noch nicht erreicht, und bezweckt mit demselben theils durch die Wärme allein, theils mit Hülfe von atmosphärischer Luft eine Veränderung der Erze herbeizuführen. Unter dem Einflusse der Hitze allein werden aus den Erzen leicht trennbare Bestandtheile, wie z. B. Wasser, abgeschieden und verflüchtigt, wobei der feste Zusammenhang der einzelnen Theile verändert und die oft nothwendige nachfolgende Zerkleinerung erleichtert wird. Diese Art des Röstens nennt man **Brennen** und unterwirft derselben vorzüglich die Eisen- und Zinnerze, wobei man bezweckt, Kohlensäure und Wasser zu entfernen und die einzelnen Theile aufzulockern (Mürbebrennen).

Anders ist es, wenn mit der Wärme zugleich ein chemisches Agens auf die Erze einwirkt, welches chemische Veränderungen hervorbringen soll, und das zumeist in Gestalt von atmosphärischer Luft, die vermöge ihres Sauerstoffgehalts oxydirend wirkt, zugeführt wird. Sind die Metalle an brennbare Körper, wie z. B. Schwefel und Arsen gebunden, deren Verbrennungsproducte in der Hitze sich verflüchtigen, so ist man im Stande, durch ein Glühen unter Zuleitung von atmosphärischer Luft die brennbaren Körper vom Metall zu trennen und letzteres zu disponiren, entweder mit dem Sauerstoff der Luft ein Oxyd zu bilden, oder mit einer aus dem abgeschiedenen Körper gebildeten Säure sich zu einem Salze zu vereinigen. Die in der metallurgischen Praxis häufig vorkommenden Verbindungen des Schwefels mit Eisen, Kupfer und Blei verwandeln sich beim Rösten in der Weise, daß sich aus denselben Schwefel, schweflige Säure und Schwefelsäure gasförmig abscheiden und als feste Rückstände die Oxyde des Eisens, Kupfers und Bleies theils frei, theils an Schwefelsäure gebunden, zurückbleiben. Verbindungen des Arsens mit Eisen, Kobalt und Nickel verwandeln sich unter Abscheidung von flüchtiger arseniger Säure in Verbindungen der Metalloxyde mit Arsensäure, welche durch Glühhitze nicht weiter zerlegt werden können.

Die Röstarbeit ist in den meisten Fällen eine Vorarbeit für das Schmelzen und wird vorgenommen in freien Haufen, in Stadeln und Oefen. Bei der Wahl des Apparates ist besonders darauf Rücksicht zu nehmen, ob das Material in Stücken oder in Pulverform zur Verfügung steht, ferner welchen Grad der Oxydation man erreichen soll und welcher Aufwand an Brennmaterial und Löhnen zu machen gestattet ist.

In Haufen röstet man gewöhnlich Erze in Stückform von geringem Werthe, welche zu ihrer Zersetzung keine hohe Temperatur bedürfen. Man stellt einen solchen her, indem man auf einer Unterlage von leicht entzündlichem Brennmaterial, Scheitholz und Abfälle, einen pyramidenförmigen Haufen aufführt und diesen mit klarem, abgeröstetem Erz, Röstkläre, abdeckt. Besitzt das Röstgut nicht die Fähigkeit, bis zu einem gewissen Grade erhitzt, fortzubrennen, so muß außer der Unterlage noch Brennmaterial in den Haufen eingeschichtet werden, welches, durch Anzünden der Unterlage in Brand gesetzt, die Röstung unterstützt. Zur Regulirung und Beförderung des Luftzutritts, der ähnlich wie bei dem Verkohlen des Holzes einer besondern Aufmerksamkeit bedarf, führt man in der Mitte des Haufens eine schachtförmige Esse aus Backsteinen auf, in welche Zugkanäle einmünden, und benutzt diese auch zum Anzünden des dann meilerartig angelegten Haufens. Die Haufenröstung (**Zubrennen**) fällt jedoch

stets unvollkommen aus, weshalb die Röstung, wenn ein vollständig geröstetes Erz vom Schmelzproceß gefordert wird, noch ein- oder mehreremal wiederholt werden muß. Es werden beim Wegräumen der einmal gerösteten Massen die ungenügend gerösteten Stücke zerschlagen und auf ein neues Bett von Brennmaterial gebracht, welche Arbeit man das Wenden des Rostes nennt.

Die zweite Art der Röststätten, die Röststadeln, unterscheidet sich von den Haufen nur dadurch, daß sie behufs des bessern Zusammenhaltens der Hitze mit Mauern umgeben und mit einer horizontalen oder besser ansteigenden gemauerten Sohle versehen sind. Taf. 5, Fig. 8 zeigt uns die Anlage einer solchen sogenannten Doppelstadel, von denen in der Regel mehrere nebeneinanderstehen. Je zwei Stadeln sind zu einer Doppelstadel so verbunden, daß sich die ansteigenden Sohlen mit ihren obern Kanten in einer horizontalen Fläche treffen, welche für die Passage der Arbeiter mit den Fördergefäßen freibleiben muß. Eine solche Doppelstadel ist ungefähr 8—9 Meter lang, halb so breit und mit $1^1/_2$ Meter hohen Mauern umgeben, von denen jede der beiden schmälern mit vier überwölbten Oeffnungen versehen ist, die als Feuerungsöffnungen beim Anzünden der Stadeln dienen. Von diesen Oeffnungen aus bildet man auf der Sohle, und zwar bis auf die halbe Länge, Kanäle aus großen Bruchstücken, welche zur schnellen Ausbreitung des Feuers im Roste dienen und eine Regulirung des Luftzugs während der Röstung gestatten. Auf diese Kanäle stürzt man von dem zu röstenden Material so viel (ungefähr 900—1200 Centner), bis ein kegelförmiger Haufen über die Seitenmauern hervorragt, welchen man mit Kläre abdeckt; den fertigen Haufen, dessen Kopf eines guten Abzugs der Gase wegen unbedeckt bleibt, versetzt man nun in Brand, indem man in die Feuerungsöffnungen Roststäbe einlegt und mit Steinkohlen so lange feuert, bis der Haufen die zum Fortbrennen nöthige Hitze erhalten hat. Hierauf überläßt man den Haufen sich selbst, welcher je nach der im Erz enthaltenen Schwefelmenge längere oder kürzere Zeit fortbrennt. Nach beendigter Röstung wird der Haufen einem zweiten Rösten übergeben, welches zur Ersparung an Transportkosten auf der andern gegenüberliegenden Hälfte der Doppelstadel vorgenommen wird.

Behufs einer Condensation und Gewinnung der aus den Stadeln ungenützt entweichenden Gasarten kann man wol auch mit denselben Condensationsvorrichtungen in Verbindung bringen, in welchen sich der abziehende Rauch verdichtet. Der Ausführung und dem Betrieb solcher Vorrichtungen stehen jedoch oft Schwierigkeiten im Wege, welche mit dem erzielten Resultate in keinem Verhältnisse stehen, weshalb man, wenn die Condensation des Rauchs nothwendig wird, das Rösten lieber in Oefen vornimmt, wenngleich dasselbe namentlich in Bezug auf Löhne ungleich theuerer wird.

Das Rösten in Oefen nimmt man mit stückförmigen Erzen und Producten in schachtartigen Oefen vor, in welche man die Materialien entweder allein oder mit Brennmaterial gemengt aufschichtet und anzündet. Die Luftzuführung erfolgt von unten durch einen Rost und von der Vorderseite durch verschließbare Oeffnungen von selbst infolge des im Ofen entstehenden Zugs. Derartige Oefen nennt man Kiesbrenner oder Kilns und benutzt sie, wenn man darauf bedacht ist, aus dem Röstrauch, der hauptsächlich aus schwefliger Säure besteht, Schwefelsäure darzustellen. Man röstet in Kilns nicht allein kiesige Erze, welche wegen eines geringen Gehaltes an Silber, Blei oder Kupfer das Zugutemachen verlohnen, sondern auch schwefelhaltige Hüttenproducte, sogenannte Steine, ab und gewinnt die sonst ungenützt entweichende und Schaden verursachende schweflige Säure, indem man sie zu Schwefelsäure oxydirt und condensirt. Das Verfahren zur Darstellung der Schwefelsäure aus Röstgasen ist nicht abweichend von dem in der „Chemischen Technik" beschriebenen. Nur eine Nacharbeit ist man veranlaßt mit der fertigen Schwefelsäure vorzunehmen, welche durch einen häufigen Gehalt der Erze an Arsen veranlaßt wird und darin besteht, daß man die Säure durch Einleiten von Schwefelwasserstoff vom Arsenik befreit, bevor man sie in den Handel geben kann.

Zum Abrösten pulverförmiger Erze bedient man sich der sogenannten Röstflammenöfen, die uns in Fig. 6 u. 7 gezeigt werden und die entweder durch die Flamme eines festen Brennmaterials oder durch vorher in brennbare Gase verwandelte Brennstoffe geheizt werden. Einen Ofen der letztern Art finden wir in Fig. 7 im Grund- und Aufriß dargestellt; der Feuerungsraum desselben ist nach Art eines Gasgenerators eingerichtet. Auf dem Roste a des Generators b wird das Brennmaterial, ein Gemenge von Steinkohlen und Coak, auf Kosten der durch den Rost ziehenden Luft in gasförmiges Brennmaterial (Kohlenwasserstoffgas und Kohlenoxydgas) verwandelt. Die Oeffnung c dient zum Aufgeben des Brennmaterials und ist mit einer starken eisernen Platte zugedeckt, während durch die Löcher dd man mittels Gezäh in den Generator gelangen und das Brennmaterial auflockern kann. Die senkrecht stehenden Luftkanäle ee, welche sich bei f in einen einzigen vereinigen und in einen horizontalen Kanal g ausmünden, führen die zur Verbrennung der im Generator gebildeten Gasarten nöthige Luftmenge zu und gestatten eine Erwärmung derselben an den heißen Wänden des Generators. Durch den zur Seite gerichteten breiten Kanal h wird die Luft dahin geleitet, wo sie sich mit den bei i aus dem Generator tretenden Gasen vereinigen soll und sofort eine Verbrennung der letztern bewirkt. Auf dem feuerfesten Röstherde k liegt die Röstpost, welche durch die einander gegenüberliegenden Arbeitsthüren m und n bearbeitet wird und durch die Oeffnungen p im Gewölbe o von dem aus Eisenplatten bestehenden Trockenherde herabgelassen worden ist. Das geröstete Erz wird durch die Oeffnungen s im Herde in darunter befindliche überwölbte Räume gezogen und von daruntergeschobenen eisernen Karren oder Hunden aufgenommen; während des Röstens sind diese Oeffnungen mit eisernen Platten verschlossen. Im Herdgewölbe, und zwar über der für gewöhnlich vermauerten Thüre l, befindet sich der Fuchs u, welcher die Verbrennungs- und Röstproducte in der Regel nach einem System von Flugstaubkammern führt, an welche sich eine Esse schließt. Der Ofen ist stark verankert und besitzt über den Arbeitsöffnungen m und n noch niedrige Essen x, welche die aus dem Herde zuweilen heraustretenden Gase in die Luft führen und für die am Ofen beschäftigten Arbeiter unschädlich machen.

Die erwähnten Flugstaubkammern dienen nicht allein dazu, die durch den starken Luftzug mit fortgeführten Erztheilchen aufzusammeln, sondern auch zur Verdichtung der arsenigen Säure, dem weißen Arsenik, welches sich als weißes oder graues Mehl in denselben niederschlägt. Im letztern Falle heißen diese Condensationsvorrichtungen Giftfänge oder Giftthürme.

Ist der Ofen mit directer Feuerung versehen, so tritt an die Stelle des Generators ein einfacher Ofen mit Rost, auf welchem die Brennmaterialien vollständig

verbrannt werden. Die Flamme derselben tritt dann über die Feuerbrücke Fig. 7 i in den eigentlichen Röstraum und erhitzt das auf dem Herde ausgebreitete Erz.

Die Einwirkung der atmosphärischen Luft, welche durch den Rost mit der Flamme und durch die Arbeitsöffnungen m und n in den Ofen gelangt, wird durch öfteres Umrühren und Umkrählen des glühenden Erzes befördert. Man bietet durch diese Manipulation der Luft immer neue Angriffspunkte dar und vermeidet ein Zusammensintern und Backen des Erzes; auch nimmt man darauf Bedacht, die an der Fuchsseite geringerer Hitze ausgesetzten Erztheile an die Stelle der stärker erhitzten an der Feuerbrücke zu bringen, d. h. die Erzpost zu wenden. Die Werkzeuge oder Gezähe, deren man sich hierbei bedient, sind Fig. 7 dargestellt. Es sind dieselben ein eiserner Rechen (Krähl), eine Schaufel und zweierlei kratzenartige Instrumente, Krücken genannt, mit Blättern von rectangulärer oder rundlicher Form. Die letztern benutzt man beim Ausbreiten und Breitziehen des Erzhaufens, den Krähl zum Durchrühren und die Schaufel zum Wenden der Post. Bei der Ausführung der Röstarbeit ist außer darauf, daß durch ein regelmäßiges Umrühren die Einwirkung der Luft auf das Erz befördert wird, noch darauf zu sehen, daß die Temperatur im Ofen nicht den Grad erreicht, bei welchem die Erze schmelzen, was im Anfange der Röstperiode, wo die lebhafte Oxydation die Temperatur erhöht, leicht zu geschehen pflegt.

Unter den Erzen, welche einer Röstung unterworfen werden müssen, sind zu nennen die schwefelhaltigen Kupfer-, Zink- und Bleierze, ferner die arsenhaltigen Kobalt- und Nickelerze, die Zinnerze und außerdem die bei den Hüttenprocessen erzeugten Schwefel und Arsen enthaltenden Zwischenproducte, welche als Schwefelverbindungen Steine (Roh-, Kupfer- und Bleistein), als Arsenverbindungen Speisen (Blei-, Kupfer- und Nickelspeisen) genannt werden.

2. Das Schmelzen.

Ohne Zweifel ist der Schmelzproceß der wichtigste Hüttenproceß. Er bezweckt das Flüssigmachen der Erze und Producte, wodurch diesen Gelegenheit gegeben werden soll, chemisch aufeinander einzuwirken, sich zu zersetzen und neue Verbindungen einzugehen. Der flüssige Zustand gestattet diesen neuen Verbindungen, sich nach ihrem specifischen Gewicht übereinander abzulagern, sodaß zu unterst die Metalle oder Legirungen derselben, als die schwersten Bestandtheile des flüssigen Gemenges, über diesen leichtere Metallverbindungen (Speisen und Steine), und zu oberst die unhaltigen Schlacken, welche sich aus den erdigen Gangarten gebildet haben, sich absetzen und infolge dieser schichtenweisen Absonderung die verschiedenen Bestandtheile, wenn auch nicht immer vollständig, sich voneinander trennen lassen. Bei der Benennung der einzelnen Schmelzprocesse geht man von verschiedenen Gesichtspunkten aus und nennt sie, nach den zu verarbeitenden Erzen oder Hüttenproducten, Erz-, Schliech-, Stein- oder Schlackenschmelzen, oder nach dem speciellen Zwecke der Schmelzung Roh- oder Concentrationsschmelzen, nach der Art des angewandten Ofens Flammenofen- oder Schachtofenschmelzen, und endlich nach der Art der chemischen Reactionen, welche beim Schmelzen vorgehen, oxydirendes, reducirendes und auflösendes Schmelzen. Um die eine oder die andere dieser Reactionen herbeizuführen, ist man genöthigt, beim Schmelzen der Erze Zuschläge zu geben, welche entweder oxydirend, reducirend oder lösend wirken. Als Oxydationsmittel dient vorzüglich atmosphärische Luft, ferner manche Metallsalze, wie z. B. kieselsaures und schwefelsaures Bleioxyd und eisenoxydulreiche Schlacken, und außerdem Salpeter. Als reducirendes Mittel wendet man meist Kohle und Kohlenoxydgas, wol auch Kohlenwasserstoff und Wasserstoffgas an, welche mit dem Kohlenoxydgas sich gleichzeitig entwickeln. Beim auflösenden Schmelzen lösen sich die Bestandtheile des Schmelzgutes entweder alle auf, oder man setzt Auflösungsmittel zu, welche gewisse Bestandtheile ausziehen und abscheiden. Als solche auflösende Schmelzzuschläge pflegt man anzuwenden Kieselerde in Gestalt von Quarz und kieselerdereichen Verbindungen (Silicaten), ferner alkalische oder erdige Substanzen, als Soda, Kalkstein, Thonerde, Flußspath und Schwerspath, und auch oft Schwefelmetalle, namentlich Schwefeleisen.

Bei metallurgischen Processen ist meistens das auflösende Schmelzen mit dem reducirenden verbunden, sodaß, wenn das Schmelzgut aus schwer und leicht reducirbaren Oxyden besteht und mit einer hinreichenden Menge von Auflösungsmitteln geschmolzen wird, sich die schwer reducirbaren Oxyde, wie z. B. die des Eisens, Mangans u. s. w., in der Schlacke auflösen, während die der letztern Art, als z. B. Kupfer- und Bleioxyd, sich zu Metall reduciren oder mit vorhandenem Schwefel und Arsenik Steine und Speisen bilden.

Das Schmelzen nimmt man vor in Flammenöfen, Schachtöfen und Gefäßöfen und läßt für die Entscheidung über die Wahl des einen oder des andern Apparates das Vorhandensein passender roher Brennmaterialien, flammender oder nicht flammender und den Umstand, daß Erze eine Berührung mit dem Brennmaterial nicht vertragen, maßgebend sein. Die erste Art der Oefen, die Schmelzflammenöfen oder auch Reverberiröfen genannt, bei welchen das Brennmaterial durch die Flamme wirkt, finden wir dargestellt auf Taf. 5, Fig. 9 und Taf. 6, Fig. 1 und 2. Fig. 9 gibt uns das Bild eines Schmelzflammenofens, wie er zum Schmelzen von Kupfererzen in England und Deutschland angewendet wird, und auf Taf. 6, Fig. 1 im Grund- und Aufriß vorgeführt ist. Betrachtet man einen solchen Ofen, so unterscheidet man zunächst die jedem Flammenofen zukommenden Theile, den Feuerungsraum (Windofen, Ofen), den Herd mit dem Gewölbe, die Esse und den die Verbindung zwischen der Esse und dem Herde vermittelnden Kanal, den Fuchs. Die Umfassungsmauer a (Fig. 1) des Ofens ruht auf dem Fundamente b, während der Herd durch die Säulen cc getragen wird. Die Grundlage des Herdes bilden eiserne Platten d, welche unmittelbar auf den Tragsäulen aufliegen und die zunächst eine Sandschicht e, dann eine Ziegelschicht f und zuletzt den eigentlichen Schmelzherd g tragen. Der Schmelzherd von ovaler Form und muldenartig ausgetieft, wird hergestellt aus einem Gemenge von Quarz und kieselerdereichen Schlacken, welches selbst in der größten Weißglühhitze nicht zum Schmelzen, sondern nur zu einem Zusammensintern gebracht werden kann. Ueber den Herd ist, zugleich den Feuerungsraum i überspannend, das Herdgewölbe h geschlagen, in welchem zum Eintragen der Beschickung eine Oeffnung k ausgespart ist. Durch die Feuerbrücke l, welche auf eisernen Platten ruht und durch den hohlen Raum m gekühlt wird, ist der Herd von dem Feuerungsraum i getrennt, als dessen einzelne Theile der Rost n und die Schüröffnung o zu nennen sind. In unmittelbarer Nähe des Feuerungsraums, zu beiden

Seiten der Feuerbrücke l, sind Luftzuführungskanäle pp angelegt, welche indeß nur in besondern Fällen, wenn es gilt, Luft zur Oxydation des geschmolzenen Gemenges in den Ofen zu führen, benutzt werden. Der Feuerbrücke gegenüber liegt die eigentliche, durch ein bewegliches Thor verschließbare Arbeitsöffnung, und vor derselben ein horizontales Eisen r zur Auflagerung des langen und schweren Gezähes, welches man bei derartigen Schmelzarbeiten nöthig hat. s und s sind zwei in den Längenseiten des Ofens für gewöhnlich durch aufziehbare Thore geschlossene Oeffnungen, welche während des Processes und bei vorzunehmenden Reparaturen gestatten, bequem in den Ofen zu gelangen. Die Oeffnung zum Ablassen des auszubringenden metallischen Productes, die Stichöffnung, ist bei t angedeutet; von allen Seiten ist der Herd nach dieser zu etwas geneigt, damit ein möglichst vollständiges Abfließen des Productes bewerkstelligt werden kann. Am äußersten Ende des Ofens, über dem Arbeitsthor, ist der Fuchs angesetzt, welcher, in schräger Richtung ansteigend, die gasförmigen Producte der Schmelzung, gemengt mit den Verbrennungsproducten, nach der Esse v abführt. Der innere Theil des Ofens w, welcher der hohen Schmelzhitze am meisten ausgesetzt ist, wird aus feuerfesten Steinen hergestellt oder aus feuerfester Masse aufgeführt. Sowol die Esse als auch der Ofen werden stark verankert, wozu man sehr zweckmäßig alte Eisenbahnschienen verwendet, welche, als Federn gebraucht, eine gute Auflage mit breiter Basis abgeben.

Die Manipulationen an einem derartigen Schmelzflammenofen sind ungefähr die folgenden: Nachdem man den Ofen durch tagelanges und allmählich gesteigertes Feuer angewärmt hat und die im Ofen auf der Ziegelschicht f aufgeschüttete Herdmasse bei einer Temperatur, welche die später anzuwendende Schmelzhitze übersteigt, zum Zusammensintern gebracht, dieselbe mit einem eisernen Löffel (Taf. 5, Fig. 9) festgeschlagen und muldenförmig ausgetieft hat, läßt man aus dem über dem Ofen befindlichen Fülltrichter, in welchen vom Boden des Hüttengebäudes aus die Beschickung gestürzt worden ist, diese in den Ofen fallen, zu welchem Zwecke man die durch einen Schieber verschließbare Oeffnung der untersten Spitze des Fülltrichters öffnet. Ist die Beschickung (Gemenge, Satz) in den Ofen eingelassen und gehörig ausgebreitet worden, was mit einer Krücke (Fig. 9) geschieht, gibt man dem Ofen Schmelzhitze, rührt, wenn alles in Fluß gekommen, durch und überläßt für die gute Absonderung der Schlacken von den metallischen Producten den Ofen noch einige Zeit der Hitze. Ist der letztere Zweck erreicht, so entfernt man durch Abziehen die obenauf schwimmende Schlacke aus dem Arbeitsthore, bis sie mehr oder weniger vollständig entfernt und der Spiegel des Metallbades zum Vorschein gekommen ist. Die Schlacke läuft in die vor dem Ofen hergerichteten vertieften Sandbetten, oder behufs Darstellung von Schlackenziegeln, welche als Surrogat für Backsteine vielfach Anwendung finden, in gußeiserne, parallelepipedische Formen. Hierauf öffnet man die Abstichöffnung und läßt die noch im Ofen befindliche Metallmischung aus demselben in bereitstehende große gußeiserne Pfannen laufen, wobei der Schmelzer durch Nachschieben mit der Krücke von der Arbeitsthür aus das Entleeren befördert. Bei dieser Arbeit sehen wir in Fig. 9 den Schmelzer und sein Hülfspersonal beschäftigt. Ist alles abgelaufen, so schließt man das Stichloch wieder durch einen Holz- und Thonpfropfen und läßt von neuem einen Schmelzsatz in den Ofen. Anwendung finden derartige Schmelzflammenöfen bei den Kupfer-, Blei- und Zinnhüttenprocessen zu verschiedenen Operationen.

Im Gegensatz zu dem beschriebenen Flammenofen, welcher Zugflammenofen genannt wird, weil die Zuführung der auf die Schmelzmasse wirkenden Luft durch natürlichen Zug bewirkt wird, heißen die Flammenöfen Gebläseflammenöfen, bei welchen durch künstliche Luftzuführung mittels eines Gebläses eine Einwirkung auf das Schmelzgut herbeigeführt werden soll. Einen solchen Ofen erhalten wir Taf. 6, Fig. 2 vorgeführt; es ist dies ein sogenannter Abtreibeofen (Treibeherd), welcher speciell dazu dient, aus silberhaltigem Blei das Blei vom Silber abzuscheiden. Der Herd dieses Ofens ist kreisrund, mit einem niedrigen Kranze aus Ziegeln umgeben und durch eine Feuerbrücke von dem danebenliegenden Windofen getrennt. In dem Ziegelkranze befinden sich drei Oeffnungen, von denen die eine, das sogenannte Schürloch, der Feuerbrücke gegenüberliegt und zum Eintragen des Bleies dient, die zweite, ungefähr 90 Grad vom Schürloch entfernt, die zur Zuführung des Windes dienenden Formen enthält, und die dritte den Formen gegenüber sich befindet. Durch die letztere, das Glutloch, werden die Abtreibeproducte, im wesentlichen geschmolzenes Bleioxyd, entfernt. Den Herd schlägt man aus ausgelaugter Holzasche (Aescher), oder aus Kalkmergel, welche die Fähigkeit besitzen, das beim Abtreiben erzeugte Bleioxyd aufzusaugen und infolge dessen eine feste Unterlage für das flüssige Metallbad geben. Auf den Herd setzt man beim Beginn des Processes das silberhaltige Blei auf, bedeckt den Herd mit der beweglichen Kuppel, dem sogenannten Treibehute, welcher auf dem Ziegelkranze aufsitzt. Dieser Hut besteht aus einer durch eiserne Schienen gehaltenen Haube aus Eisenblech, welche auf der innern Seite mit einem Anschlag von Thon oder feuerfester Masse versehen ist. Ein drehbarer Kran, an welchem der Hut mittels Ketten hängt, dient dazu, ihn auf und zur Seite zu heben, sobald der Proceß beendet ist, das Silber geblickt hat. Außerdem ist noch über dem Glutloch eine eiserne, in sich selbst verschiebbare Esse aufgehängt, welche die Verbrennungsproducte nebst entstandenen Bleidämpfen abführen soll. Aehnlich construirte Gebläseflammenöfen mit runden Herden benutzt man zu dem Verblasen sehr unreiner Schwarzkupfer, in welchem Falle man statt mit einer beweglichen, der Herd mit einer festen, aus einer gemauerten Kuppel bestehenden Haube bedeckt. Man kann auch einen gewöhnlichen Zugflammenofen in einen Gebläseflammenofen umwandeln, wenn man in die Oeffnungen pp (Fig. 1) den Windstrom eines Gebläses einführt. Bei den Kupfer- und Bleihüttenprocessen benutzt man Gebläseflammenöfen zu verschiedenen Zwecken; selbstverständlich kann man in denselben nur oxydirende Schmelzungen vornehmen.

Die zum Schmelzen der Erze und Hüttenproducte dienenden Schachtöfen müssen, damit die erforderliche hohe Temperatur erzeugt werden kann, mit einem Gebläse versehen und je nachdem in denselben Silber-, Blei-, Kupfer- oder Zinnerze verschmolzen werden sollen, verschieden construirt sein. Nach der Gestalt des Ansammlungsraums für die geschmolzenen Massen nennt man die Schachtöfen Sumpföfen, Tiegelöfen und Augenöfen, und theilt sie nach der Höhe des Schachtes in Hohöfen von mehr als 4 Meter Höhe, in Halbhohöfen mit mehr als 2 Meter Höhe, und in Krummöfen mit weniger als 2 Meter Höhe.

Ein Sumpfofen, bei welchem sich der Ansammlungsraum, der Herd oder der Sumpf theils im Ofen, theils vor demselben, im Vorherde befindet, und

zwar ein Doppelschachtofen der freiberger Schmelzhütten ist Taf. 6, Fig. 3—5 im Grund- und Aufriß dargestellt. Auf der Grundmauer a, in welcher vor dem Ofen eine Hauptanzucht b und unter dem Ofen Kreuzanzüchte cc geführt sind, erhebt sich der Mantel oder das Rauhgemäuer e (Rauhschacht), welches aus der Rückwand Fig. 4 e (Brandmauer) und den beiden Ulmen Fig. 5 ee besteht und unabhängig von dem eigentlichen *Kernschachte* des Ofens ist, sodaß man ohne Lädirung des erstern den letztern erneuern kann. Den Kernschacht bilden die innern Futtermauern d, welche auf den Deckſteinen der Anzüchte angesetzt sind. Im untersten Theile ist der Schacht mit Schlacken ausgestürzt, auf welchen eine Lehmschicht r folgt, die den eigentlichen Herd s trägt. Der untere Theil der Rückwand oder Brandmauer heißt die Formwand f, ist nischenartig vertieft und enthält das durch einen Bogen überspannte Formgewölbe m. Dieser gegenüber schließt den Ofen nach vorn die Stirn- oder Vorwand g, deren unterster Theil einen Bogen enthält, welcher mit einer leicht entfernbaren Ziegelmauer k (Brustwand) ausgesetzt ist und mehrere Zuglöcher i zum Nachhelfen beim Niederschmelzen der Beschickung enthält. Der Schachtscheider h theilt den Schacht l in zwei Theile, von denen jeder einen selbständigen Ofen repräsentirt und dem entsprechend auch eine für die Windzuführung bestimmte Form n hat. Beide Theile vereinigen sich unten zu einem gemeinschaftlichen Schmelzraume, in welchem die beiden Formen nn durch die Formwand f die Windzuführung gestatten. Unterhalb der Formen beginnt der Herd s, welcher aus einem Gemenge klar gepochter Kohle und Lehm (Gestübbe) hergestellt wird. Der unterste Theil desselben heißt die Spur o; sie reicht nicht ganz bis an die Formwand und auch nicht bis an die Ulmen, sondern ist durch Gestübbeanschlag, der sich nach oben abflacht und in der Höhe der Formen nur noch dünn anliegt, von diesen getrennt. Der vor dem Ofen liegende Theil des Herdes, der Vorherd, wird durch einen Damm vom innern Theile abgetrennt und durch eine eiserne Platte, die Vorherdplatte p, zusammengehalten. Im Vorherd vom tiefsten Punkte der Spur weg ist ein Kanal v geführt, welcher den innern Herd mit einem außerhalb liegenden Herde, dem Stichherde w, verbindet. An den Vorherd schließt sich eine schiefe Ebene z (Fig. 5), p (Fig. 4) an, die Schlackentrift, auf welcher die aus dem Innern in den Vorherd getretene Schlacke herabläuft und erstarrt. Die Oeffnungen x (Fig. 3), die Gichtöffnungen (Gichten), dienen zum Einfüllen der Erzbeschickung in den Ofen. Mit eisernen Ankern y wird der Ofen, namentlich der Kernschacht, zusammengehalten.

Sowie dieser Doppelofen aus der Verdoppelung des einfachen Ofens entstanden ist, hat man auch die Dimensionen dieses Ofens vergrößert und denselben mit vier Formen versehen (Fig. 6), um durch den vergrößerten Querschnitt des Ofenschachtes ein größeres Durchsetzquantum zu erzielen. In Fig. 6 ist ein solcher vierförmiger Ofen, welcher mit zwei Stichkanälen und zwei Stichherden versehen ist, im Grundriß dargestellt. Die Schlacke fließt dann durch eine in der Mitte des Vorherdes liegende eiserne Rinne z in daruntergestellte *Tiegel* von Gußeisen (Fig. 9a) ab, welche auf einen zweiräderigen, mit gabelförmigen Trägern versehenen eisernen *Wagen* (Fig. 9b) gehoben und entfernt werden können. Dieses Abstechen der Schlacke in Tiegel gestattet die Gewinnung von Metalltheilchen, welche mit der Schlacke fortgerissen sich am Boden des Tiegels absetzen und vereinigen.

Die Manipulationen an einem solchen Schachtofen sind kurz die folgenden: Ist der Ofen so, wie er eben beschrieben, fertig gemacht, und wie man zu sagen pflegt, zugestellt oder zugemacht, d. h. mit Gestübbe ausgeschlagen, so wird der Herd durch schwaches Holzkohlenfeuer abgewärmt und nach vollständigem Austrocknen, das ungefähr 2—3 Tage beansprucht, mit Coak, welcher sich an den brennenden Kohlen entzündet, bis in die halbe Höhe ausgefüllt, worauf man Gebläsewind in den Ofen einläßt. Auf den Coak stürzt man dann abwechselnd mit Brennmaterial Schlacken, und dann mit dem allmählichen Niederschmelzen Erzbeschickung auf. Dies geschieht durch die Gichten x und ist in Fig. 12 dargestellt. Zum Aufgeben des Coakes bedient man sich geflochtener Spankörbe (Schienfässer), während man die in flachen Haufen ausgebreiteten Erze und Zuschläge mit einer Kratze in einen Trog füllt und in den Ofen schüttet. Ist der Ofen im guten Gang, so gibt man auf einen Korb Coak von circa 20 Pfund 4—5 Tröge Beschickung à 40 Pfund. Man beobachtet dabei die Vorsicht, daß man das Brennmaterial vorn an die Vorwand, die Beschickung in die Winkel an der Brandmauer schüttet (setzt). Das Schmelzen der mit den Zuschlägen gemengten Erze erfolgt nach und nach, mit dem Niedergehen der Massen fortschreitend, bis dieselben, in dem Schmelzraum angelangt, flüssig werden und nach dem specifischen Gewichte sich absondern. Die zur Erreichung der Schmelzhitze nöthige Luft wird durch Gebläsemaschinen verdichtet, in eisernen Rohren an die Oefen geleitet und tritt aus diesen in die *Windständer* (Fig. 13). Von diesen aus vertheilt sich die Luft in zwei Arme, von denen jeder mit einen Durchgangshahn versehen ist. Der vordere Theil des Arms heißt die *Düse* (Fig. 10 d), deren Mundstück c in die Form b ragt und den Wind durch den Formrüssel a in den Ofen führt. Diese Düse ist entweder durch ein eisernes Rohr oder durch einen Lederschlauch mit dem Ständer verbunden; letztern darf man nicht benutzen, wenn man den Wind vor dem Einblasen in den Ofen erhitzt. Zum Schutz der Form vor einem unzeitigen Wegschmelzen durch die Ofenhitze führt man den Windstrom so in den Ofen, daß derselbe erst durch eine halbgeschmolzene Schlackenmasse passiren muß (die *Nase*), welche die Vertheilung des Windes im Ofen befördern und den Schmelzpunkt mehr nach der Mitte des Ofens ziehen soll. Die Führung der Nasen galt bei den alten Schmelzern als ein Hauptvortheil zur Erlangung eines guten Ofen- und Schmelzganges. Neuerer Zeit ist man dagegen von diesem Nasenschmelzen abgegangen und benutzt, wo es irgend angeht, sogenannte *Wasserformen* (Fig. 11), welche vor rascher Zerstörung durch die Hitze vortrefflich geschützt sind. Diese Formen haben eine konische Form und doppelte Wände, welche durch fortwährend in der durch Pfeile angedeuteten Richtung mit großer Geschwindigkeit zu- und abfließendes Wasser kühl erhalten werden. Man nimmt dabei Rücksicht darauf, daß das Wasser in dem Zuleitungsrohre t bei y am tiefsten Punkte eintritt und die Form bei a am höchsten Punkte verläßt, um durch das Rohr t′ abgeführt zu werden. Die Düse T ist in Fig. 11 mittels eines Lederschlauchs mit dem Windständer verbunden. Hat sich die beim Niedergehen geschmolzene Masse nun im Herde angesammelt, sich abgesondert und den Herd bis an die Höhe des Vordammes gefüllt, so läßt man aus dem Vorherd die Schlacken erst ablaufen und streicht sie dann mittels einer Schaufel, soviel als deren sich entfernen lassen, heraus. Diese laufen auf der Trift hinab, erstarren auf derselben, werden hierauf in Karren gefüllt

und auf die Halde gefahren oder einer Nacharbeit, dem Schlackenschmelzen, übergeben. Hat man diese Arbeit, das *Schlackenziehen* (Fig. 14), mehrmals wiederholt und hat sich nach und nach eine größere Menge Metall abgesondert, so entfernt man diese aus dem Ofen, indem man das Stichloch v öffnet, worauf die geschmolzenen Massen in den Stichherd fließen (Fig. 14) und sich dort nochmals nach dem Gewichte absondern. Das Stichloch schließt man wieder mit einem Holz- und Lehmpfropfen und entfernt nach dem Erkalten die im Stich erstarrten Steine und Speisen durch Abheben oder die noch flüssigen Metallgemische durch Auskellen.

Die Tiegelöfen unterscheiden sich von den Sumpföfen dadurch, daß der Herd durch eine kesselförmige Vertiefung gebildet wird, welche ganz innerhalb des Ofens liegt und mittels eines verschließbaren Kanals, *Stich*, entleert werden kann. Charakteristisch für diese Art der Oefen ist der zum Umschmelzen des Roheisens angewendete Cupolofen, jedoch finden Tiegelöfen auch Anwendung beim Zinnerz- und Bleierzschmelzen (Stolberg), sowie zum Kupferschmelzen (Falun).

Bei der dritten Art der Schachtöfen, den *Spur-* oder *Brillenöfen* (Fig. 7 und 8), liegt der Ansammlungsraum für die geschmolzenen Massen außerhalb des Ofens. Die vor der Form schmelzenden Producte fließen auf einer stark geneigten Sohle durch zwei in der Vorwand ausgesparte Oeffnungen (Augen) in die vor derselben liegenden Tiegel. Fig. 7 und 8 zeigen uns einen oberharzer Brillenofen, wie er zum Verschmelzen der Kupfererze angewendet wird. Es ist auf dem Fundamente a das Rauhgemäuer b aufgeführt, in welchem der Kernschacht c eingesetzt ist, welcher seine Fundamentirung auf dem Sohlsteine w findet, die Brandmauer d enthält die Form h, während die Vorwand e nach vorn abschließt. Durch den Vorsatzstein i ist der untere Theil der Vorwand getheilt und dadurch eine Trennung der beiden Spuren k voneinander herbeigeführt. Auf der Lehmsohle f ist die Gestübbesohle g stark nach den Formen ansteigend geschlagen und durch die beiden Spuren k die Verbindung mit den Spurtiegeln l hergestellt. Vor dem Ofen, zwischen beiden Tiegeln liegt der Stein m, der Trittstein, auf welchen man tritt, wenn man den Ofen, der für diesen Zweck als Krummofen construirt ist, mit Schmelz- und Brennmaterial füllt. Solche Spuröfen finden Anwendung, wenn die geschmolzenen Metalle sehr bald der schädlichen Einwirkung der Gebläseluft entzogen und leicht sich bildende metallische Ansätze im Ofen, sogenannte *Ofensauen*, vermieden werden sollen. Sie werden deshalb gebraucht beim Verschmelzen eisenarmer Kupfererze im Harz und in Mansfeld, sowie auch beim Zinnschmelzen in Sachsen und Böhmen. Die Behandlung eines solchen Ofens ist sehr einfach, da das geschmolzene Schlacken- und Metallgemenge continuirlich aus dem Ofen rinnt, sich im Spurtiegel separirt und man nur nöthig hat, die schnell erstarrende Schlacke in Scheiben abzuheben und, wenn der Tiegel voll ist, die andere Spur zu öffnen. Die unter den Schlacken befindlichen Metallverbindungen werden ebenfalls nach Maßgabe der fortschreitenden Erstarrung in Scheiben abgehoben (in Scheiben gerissen).

Wie oben schon angedeutet, sucht man in der neuern Metallurgie Fortschritte in der Anwendung großer und mehrförmiger Oefen zu machen, welche ähnlich den Eisenhohöfen vollständig frei stehen und ringsherum zugänglich sind. Von dem anfänglich durch den russischen General Raschette empfohlenen länglich viereckigen Querschnitt ist man jedoch abgegangen und hat die runden angenommen, da die damit erzielten Resultate bei weitem besser waren. Solche runde Oefen mit fünf bis acht Formen wendet man in den größern Hütten Deutschlands jetzt allgemein an und hat mit denselben z. B. in Freiberg bedeutende Fortschritte gemacht. Es wurden dort mit je *einem Pfunde Coak* verschmolzen:

im 2förmigen Ofen	2,5 Pfd.	Erz	od.	7,3 Pfd.	Beschickung.
» 4förmigen	» 3,0	»	»	» 10,0 »	»
» 8förmigen	» 7,0	»	»	» 13,0 »	»

Bei den zur Zugutemachung der gold- und silberhaltigen Blei- und Kupfererze üblichen Methoden wendet man sowol Schacht- als auch Flammenöfen an und schlägt dabei kurz folgende Wege ein: Die gerösteten gold- und silberhaltigen Bleierze werden mit passenden Zuschlägen in Schachtöfen geschmolzen und dabei Schlacke, Stein und silber-goldhaltiges Blei (*Werkblei*) erhalten. Die Schlacke ist entweder werthlos (*absetzbar*), oder enthält noch so viel Metall, daß sie mit armen Erzen im Schacht- oder Flammenofen auf einen Stein verschmolzen werden muß, welcher geröstet beim Erzschmelzen wieder zugesetzt wird. Der Stein vom Erzschmelzen, Blei, Silber und auch etwas Kupfer enthaltend, wird geröstet, und ähnlich dem Erze verschmolzen und wenn nach mehrmaligem Schmelzen alles Blei ausgezogen ist, wie ein Kupfererz weiter behandelt. Das Blei scheidet sich dabei metallisch ab und sammelt Gold und Silber in sich an. Etwa sich erzeugende Arsenverbindungen, Speisen, unterliegen einer analogen Behandlung, bis sie reich genug an Kobalt, Nickel und Kupfer sind, um als Nickelproducte weiter verarbeitet zu werden. Das Werkblei wird auf dem Treibeherde abgetrieben, wobei Bleiglätte und goldhaltiges Silber gewonnen wird. Die Glätte ist Handelsartikel oder wird in Schachtöfen zu Blei reducirt (*angefrischt*), welches letztere entweder direct Handelswaare (Frischblei) wird, oder einer Raffination im Gebläseflammenofen unterzogen werden muß. Diese oxydirende letzte Schmelzung reinigt das Blei von Arsen, Antimon und Kupfer. Reiche Bleierze, welche namentlich frei von kieselerdereichen Gangarten sind, macht man auch im Flammenofen zu Gute nach den in Kärnten, England und Frankreich üblichen Methoden. Das Wesentliche dieser Methoden besteht darin, daß der Bleiglanz in schwefelsaures Bleioxyd und Bleioxyd durch Röstung umgewandelt wird und diese Verbindungen auf den noch unzersetzten Bleiglanz einwirken, wodurch entweder ohne oder mit einem geringen Zuschlag von Kohle metallisches Blei ausgeschmolzen wird.

Reine Kupfererze werden entweder in Flammenöfen, wie in England, oder in Schachtöfen nach der deutschen Methode verschmolzen. Beide Methoden rösten die Erze und verschmelzen dieselben auf einen Stein, welcher nach mehrmaligem Rösten und Schmelzen zu einem reichen Kupferstein concentrirt wird. Nach der englischen Methode wird dieser Stein durch das mit einem Rösten verbundene Schmelzen, welches man *Röstschmelzen* nennt, nochmals concentrirt und durch eine Wiederholung dieser Arbeit auf Rohkupfer verschmolzen, welche Arbeiten alle im Flammenofen ausgeführt werden. Nach der deutschen Methode wird der Concentrationsstein nicht selten nach einer Raffination mit Schwerspath im Flammenofen gut abgeröstet und im Schachtofen auf ein unreines Kupfer (Schwarzkupfer) verschmolzen, welches nach einer Raffination im Flammenofen Handelswaare wird. Oft ist man auch in der Lage, die Reduction des gerösteten Steins und die Raffination unmittelbar hintereinander bei einer Schmelzung auszuführen (Mansfeld). Gold und Silber concentriren sich mit dem Kupfer im Stein, aus welchem die Metalle durch Methoden auf nassem Wege abgeschieden werden.

Geröstete Zinnerze geben nach einem einmaligen Schmelzen im Schacht- oder Flammenofen Metall, welches nach einmaligem Umschmelzen eine Handelswaare gibt.

Während nun die Schmelzgüter beim Schmelzen im Flammenofen mit den Verbrennungsproducten in Berührung kommen, beim Schmelzen im Schachtofen mit den Brennmaterial gemengt werden, kann man sie auch in besondere Gefäße einschließen und erhitzen, sodaß dieselben weder mit dem Brennmaterial, noch mit der Flamme in Berührung kommen. Solche Oefen nennt man Schmelzgefäßöfen, von denen uns in Fig. 15 u. 16 ein Bild gegeben wird. Der dort dargestellte Ofen ist ein sogenannter Blaufarbenglasofen, wie er bei den sächsischen Blaufarbenwerken zum Schmelzen des Smalteglases und wismuthhaltiger Kobalt-Nickelerze angewendet wird. Fig. 15 zeigt die Construction eines Ofens mit sechs Häfen. Der Ofen ist mit zwei Rosten a a für Steinkohlenfeuerung versehen, welche voneinander durch den auf Platten von Eisen ruhenden Glutstein b getrennt sind. Unter dem Roste befindet sich der Aschenfall c; bedient wird derselbe durch die Schüröffnungen d. Durch das Glut- oder Flammloch e tritt die Flamme in den durch ein kuppelartiges Gewölbe i überdeckten Ofenraum, in dessen Umfassungsmauern g größere Oeffnungen h sich befinden, welche, für gewöhnlich geschlossen, die Möglichkeit geben, bei Reparaturen in den Ofen zu gelangen und die unbrauchbar gewordenen Häfen k auszuwechseln. Die Häfen k, von denen 6 oder 8 in einem Ofen stehen, werden aus feuerfestem Thone gefertigt und vor dem Eintragen in den Ofen in einem besondern Ofen angewärmt (getempert). Die Arbeitsöffnungen l werden während des Schmelzens geschlossen, gestatten aber das Eintragen und Ausschöpfen des Schmelzgutes, sowie sie auch bei den alten Constructionen der Flamme als Ausweg dienten. Jetzt führt man die Verbrennungsproducte in besondern Kanälen ab, vereinigt diese oberhalb des Gewölbes und führt sie in einer gemeinsamen Esse fort. Die Arbeiten an einem solchen Ofen sind kurz die folgenden: Mit dem Gemenge, aus Pottasche, Sand und Kobalterz bestehend, füllt man die Häfen, und entleert, nachdem alles eingeschmolzen, das Kobaltoxyd des Erzes mit den Zuschlägen sich zu einem blauen Glase vereinigt hat und die abgeschiedene Speise auf dem Boden des Hafens sich gesammelt, mittels eiserner Löffel. Dabei schöpft man das Glas oder die Schlacke zuerst und schreckt es in kaltem Wasser ab, während man die abgesetzte Speise für sich in bereitstehende eiserne Schüsseln auskellt.

3. Sublimation und Destillation.

Sublimation und Destillation bezwecken beide die Trennung flüchtiger Körper von andern, weniger flüchtigen oder feuerbeständigen in höherer Temperatur. Erhält man den flüchtigen Körper sofort in festem Zustande, so nennt man den Proceß eine Sublimation, befindet er sich dagegen in flüssigem, so hat man es mit einer Destillation zu thun.

Einen Apparat, wie er zum Sublimiren des weißen durch das Rösten erhaltenen Arsenmehls benutzt wird, finden wir Taf. 6, Fig. 17 dargestellt. Der eingemauerte Kessel a ist zur Aufnahme des Arsenmehls (circa 2 Centner) bestimmt und besteht aus zwei Theilen, damit man den untern, welcher durch die Hitze sehr bald zerstört wird, leicht auswechseln kann. Unter diesem Kessel liegt der Rost b, welcher durch eine Schüröffnung c bedient wird. Von dem Feuerungsraum [illegible] zwei Füchse zunächst in einen Kanal d, von dem aus die Verbrennungsproducte durch einen etwas ansteigenden Kanal in die Esse i geführt werden. Auf dem Kessel stehen die Cylinder e, deren oberster mit einem Hute f bedeckt ist, aus welchem ein Rohr in die Kammer g führt. Diese Kammer ist durch Scheidewände in zwei Theile getheilt, aus deren oberstem eine Esse h die nicht condensirten Dämpfe in die Luft führt. An den Rändern der aufgesetzten Cylinder hat sich nach einer ungefähr achtstündigen Feuerung die sublimirte und dadurch raffinirte arsenige Säure als glasartige Masse abgesetzt.

Auf dem Wege der Destillation gewinnt man vorzüglich zwei leichtflüssige Metalle, Zink und Quecksilber, und benutzt dazu die Fig. 18—22 dargestellten Apparate.

Fig. 18 zeigt den Durchschnitt eines Zinkdestillirofens nach dem schlesischen System, welcher sich von dem Fig. 20 dargestellten belgischen Zinkofen durch die verschiedene Form der zur Aufnahme der Erze bestimmten Gefäße unterscheidet. Auf dem durch ein flaches Gewölbe überspannten Herde (Fig. 18 a), in dessen Mitte etwas vertieft der Rost b liegt, stehen die mehr hohen als breiten ∩-förmigen Gefäße c, die Muffeln, welche zur Aufnahme des gerösteten und mit Kohle gemengten Zinkerzes dienen. Je zwei solcher Muffeln stehen dicht nebeneinander und sind im vordern Theile des Ofens durch eine schwache Scheidemauer vom nebenliegenden Paare getrennt. Gewöhnlich stehen 10—12 Muffeln in einer Reihe, sodaß ein Ofen 20—24 dergleichen enthält. Das Zinkerz ist entweder durch Röstung sorgfältig vom Schwefel befreite Zinkblende oder gebrannter Galmei; beide geben, durch die beigemengte Kohle reducirt, Sauerstoff ab, wodurch das Zink zu Metall reducirt, in Dampf verwandelt und in einem Condensationsapparate d aufgefangen wird. Dieser Apparat oder die Vorlage besteht aus dem in die Muffel bis y (Fig. 19) reichenden horizontalen Halse q, welcher vorn eine Oeffnung hat, und dem rechtwinkelig nach abwärts gehenden Unterstücke s, an welches sich die Tropfröhre t (Fig. 18) anschließt. Diese mündet in dem Tropfloche w, welches zur Aufnahme des überdestillirten Zinkes, Werkzinkes, dient. Nachdem dieses unreine Zink in einem Kessel umgeschmolzen, kann es in den Handel gegeben werden. Zur Ableitung der Feuergase dienen mehrere im Ofengewölbe über den Muffeln angebrachte Oeffnungen, durch welche jene in kleine Schornsteine p p′ und ins Freie geführt werden. Der Zutritt der Luft unter den Rost wird durch den geräumigen Aschenfall g vermittelt. Die Muffeln aus feuerfestem Material, Chamotte, gefertigt, setzt man lufttrocken in einen besondern Temperofen ein, aus welchem sie, bis zur Rothglut erwärmt, in den Destillirofen gebracht werden. Eine solche Muffel ist ungefähr 1—2 Meter lang, 0,5 Meter hoch und faßt bis zu 50 Pfund Erz.

Von den belgischen Destilliröfen (Fig. 20, 21) unterscheiden sich die beschriebenen dadurch, daß jene statt der muffelartigen Gefäße, welche mit ihrer ganzen Basis auf dem Herde stehen, Röhren, welche an einem Ende geschlossen sind und frei im Ofen liegen, anwenden. Ein solcher Ofen enthält ungefähr 60 Röhren (Fig. 20, 21 b b), welche auf Vorsprüngen a in der Rückwand des Ofens auflagern. Der vordere Theil der Röhren ruht, wie in Fig. 21 im größern Maßstabe dargestellt ist, auf dem Steine e, welcher in seiner Längsrichtung durch eine Eisenplatte d, an den Seiten durch den Stein c unterstützt wird. In die Röhren wird der feingemahlene Galmei oder die geröstete Blende mit Kohle gemengt eingelegt, hierauf die Vorlage n, welche zur Aufnahme des Zinks dienen

soll, vorgesteckt, und schließlich beim heftigen Entwickeln von Zinkdämpfen das für das Auffangen des Zinkstaubes bestimmte Blechgefäß o, die Alonge, aufgesetzt. Nach Verlauf von ungefähr sechs Stunden, während welcher Zeit man den Ofen in Weißglühhitze gebracht hat, haben sich die Vorlagen mit Zink gefüllt; sie werden mittels einer kleinen Kratze entleert und abgenommen, damit man die Röhren entleeren kann, wobei die Rückstände in den Kanal m fallen, von wo aus sie wegtransportirt werden. Nach dem Füllen der Röhren verfährt man nun wieder wie vorher. Gefeuert wird der Ofen vom Roste r aus, unter welchem der Aschenfall s liegt; die Verbrennungsproducte, in f aufsteigend und die Röhren umspielend, entweichen bei l in einem Abzugskanal, welcher die Gase mit denen von andern Oefen vereinigt und in eine gemeinsame Esse führt.

Zur Gewinnung des Quecksilbers benutzt man im bairischen Rheinkreise den in Fig. 22 abgebildeten Destillirgefäßofen (Zweibrücker Quecksilberofen) Die eisernen Gefäße f (Retorten), in welche das zu destillirende Erz gebracht wird, liegen auf jeder der beiden langen Seiten des Ofens in zwei Reihen übereinander. Ihre Hälse münden durch diese Seitenmauern in den Vorlagen g, welche auf eisernen Unterlagen h ruhen. Die auf dem Roste a erzeugte Flamme umspielt alle Retorten und tritt durch Oeffnungen in dem den Ofen schließenden Gewölbe direct ins Freie. Unter dem Roste zieht sich der Aschenfall b auf der ganzen Länge des Ofens hin; auf jeder der kurzen Seiten befindet sich eine Schüröffnung s. Aehnliche Oefen, welche wegen der reihenweisen Anordnung der Gefäße übereinander Galeerenöfen genannt werden, benutzt man zur Sublimation des metallischen Arsenits, den man aus Arsenkies oder gediegenem Arsen (Scherbenkobalt) darstellt, zur Destillation des rothen Schwefelarsenits und zur Destillation des Rohschwefels.

4. Saigern und Krystallisiren.

Die letzten Hüttenprocesse auf trockenem Wege, das Saigern und Krystallisiren, gründen sich auf die verschiedene Schmelzbarkeit der Bestandtheile einer Verbindung. Bei der Saigerung erfolgt die Trennung dadurch, daß der leichtflüssige Bestandtheil durch ein allmähliches Erhitzen sich von dem strengflüssigen trennt, während bei der Krystallisation sich durch allmähliche Abkühlung des geschmolzenen Gemenges ein Bestandtheil ausscheidet. Den Saigerproceß wendet man vorzüglich an bei der Gewinnung von Wismuth und Schwefelantimon, welche man dadurch von beigemengten Gangarten trennt. Ein Wismuthsaigerofen, wie er zu Schneeberg zur Gewinnung des Wismuths aus gediegenes Wismuth haltenden Erzen angewendet wurde, ist Taf. 6, Fig. 23 abgebildet. Vier geneigte Röhren a von Gußeisen werden von dem höher liegenden Ende c aus mit Wismutherz gefüllt und hierauf durch ein auf dem Roste g unterhaltenes Holzfeuer erhitzt. Die Flamme umspielt die Röhren und entweicht in eine Esse d, deren Zug durch Schieber f regulirt werden kann. Im Kanal e sammelt sich die von der Flamme mit fortgerissene Asche. Infolge der Erwärmung wird das im Erz enthaltene Wismuthmetall flüssig, fließt in der geneigten Röhre nach dem tiefer liegenden Ende und sammelt sich in der vor diesem Ende stehenden eisernen Schüssel b, aus welcher dasselbe nach dem Erkalten entfernt wird.

Der Antimonsaigerofen (Fig. 24) enthält mehrere Thongefäße aa, in welche das zum Aussaigern bestimmte Erz gebracht wird. Nach geschehener Füllung werden die Gefäße am obern Ende mit einem Deckel d geschlossen, behalten jedoch im Boden eine Oeffnung, durch welche das ausgesaigerte Schwefelantimon in untergestellte Gefäße b tropft. Um letztere bequem vor- und rückwärts schieben zu können, stehen sie auf einem kleinen beweglichen Gestelle. Die von den Rosten rr aufsteigende Flamme tritt in den Raum c, umgibt die Saigergefäße auf ihrer ganzen Höhe und zieht dann durch f ab. Die Gefäße b sind vor der Flamme durch Wände geschützt, welche jedoch auf beiden Seiten Oeffnungen ee haben, die zum Einleiten von Wärme nach dem Untergestell dienen, wodurch ein Erstarren des niedertropfenden Schwefelantimons verhindert werden soll.

Anwendung fand der Saigerproceß früher bei der Trennung des Silbers vom Kupfer, indem man silberhaltiges Kupfer mit Blei legirte und durch Saigerung das Blei, welches aus dem Kupfer das Silber aufgelöst hatte, vom Kupfer trennte. Man benutzte dazu Herdöfen, die sogenannten Saigerherde, auf welchen man die Scheiben der Blei-Kupferlegirung aufstellte.

Für einen Krystallisationsproceß ist als Beispiel nur der von Pattinson angegebene Proceß anzuführen, bei welchem aus Blei von sehr geringem Silbergehalte durch Krystallisation silberreiches und silberfreies Blei dargestellt wird. Dieser Proceß gründet sich auf die Erscheinung, daß, wenn man eine hinreichende Menge silberhaltigen Bleies in einem Kessel einschmilzt und dann gleichmäßig sich abkühlen läßt, sich in der geschmolzenen Masse Krystalle ausscheiden, welche weit silberärmer sind als das eingeschmolzene Blei, und in dem flüssig zurückgebliebenen Blei das Silber sich concentrirt hat. Man schmilzt zu diesem Behufe in einem ungefähr 200 Centner fassenden gußeisernen Kessel das Blei ein. Dieser Kessel k (Fig. 25, 26) liegt mit seinem Rande auf einem gemauerten Kranze a und mittels laschenartiger Vorsprünge b im Ofengemäuer auf; er ragt ungefähr 0,5 Meter über der Hüttensohle o hervor. Unter dem Kessel befindet sich der Rost r, welcher durch die Schüröffnung l, zu welcher man sowie zum Aschenfall s durch einen tunnelartigen Gang v gelangen kann, bedient wird. Die Feuerung, welche mit Torf oder Steinkohlen erfolgt, erzeugt eine Flamme, die, in den Raum e tretend, zunächst den Kesselboden trifft, dann in rund um den Kessel gehenden Zügen cc dessen Wandungen umspielt und von da aus durch einen Zug i in einen gewöhnlich zwei Kesselfeuerungen gemeinschaftlich angehörenden Kanal h tritt, welcher die Feuergase der Esse zuführt. Solche Kessel liegen in großer Anzahl, 14—24, nebeneinander, sodaß man bequem den Inhalt des einen Kessels in den andern bringen kann. Ist das Blei eingeschmolzen, so entfernt man auf der Oberfläche schwimmende Unreinigkeiten (Schlicker) mittels einer durchlöcherten Kelle (Fig. 27c) und läßt den Inhalt des Kessels dann langsam erkalten. Die dabei sich bildenden Krystalle werden mittels langer durchlöcherter Kellen (Fig. 27a) herausgehoben, durch Ablaufenlassen des flüssigen Bleies gereinigt und in einen nebenliegenden Kessel zum Einschmelzen gebracht. Das zuletzt übrigbleibende flüssige Blei, die Mutterlauge, welche ungefähr den dritten Theil der Kesselfüllung beträgt, wird in einen Kessel nach der andern Seite gekellt. Durch das wiederholte Krystallisiren der armen, wieder eingeschmolzenen Krystalle, als auch der reichern Mutterlaugen, erhält man schließlich auf der einen Seite der Kesselreihe ein fast silberfreies, durch das öftere Umschmelzen gereinigtes Blei, welches mit Kellen (Fig. 27b) in die Armbleiformen (Fig. 28) gegossen wird, und auf der andern Seite ein im Silbergehalte ange-

[illegible] Werkblei, welches, in eiserne Formen (Fig. 23) [illegible], für den Abtreibeproceß ein weit geeigneteres Material ist, als das ärmere und unreine Werkblei.

IV. Hüttenprocesse auf nassem Wege.

1. Die Amalgamation.

Die Amalgamation bezweckt das Ausziehen des Silbers und des Goldes aus Erzen und Hüttenproducten mittels Quecksilbers, welches diese Metalle auflöst und mit ihnen Legirungen, Amalgame bildet, welche durch einfache Destillation zersetzt werden. Das Quecksilber verflüchtigt sich dabei und läßt Silber und Gold metallisch zurück. Aus Golderzen läßt sich das Gold meist direct ausziehen, wenn man Erze und Quecksilber miteinander mengt, wozu man die sogenannten Goldmühlen, welche man nicht selten in die nasse Aufbereitung einschaltet, benutzt. Silbererze dagegen erfordern eine Vorarbeit, durch welche die Bildung von Chlorsilber bezweckt wird. Man erreicht eine solche nun durch Röstung des Silbererzes mit Kochsalz, worauf die gerösteten Erze mit Eisen und Quecksilber in rotirenden Fässern zusammengebracht werden, in welchen das Eisen das Chlorsilber zerlegt, sich Eisenchlorür und Silber bildet, welches letztere vom Quecksilber aufgelöst wird. Durch Behandlung der rohen Erze mit Kupfer- und Eisenchlorid ist man jedoch ebenfalls im Stande, Chlorsilber zu erzeugen, in welchem Falle man dann die Zersetzung des letztern auf Kosten eines Theils des zugesetzten Quecksilbers vornimmt. Die erstere Methode ist die europäische Fässeramalgamation, die letztere die amerikanische Haufenamalgamation genannt.

Die Fässeramalgamation, welche sich im 18. Jahrhundert aus der amerikanischen entwickelt hat, beginnt mit der sorgfältigsten Abröstung des mit Kochsalz gemengten Erzes, bei welcher Operation sich das an Schwefel, Arsenik und Antimon gebundene Silber in Chlorsilber umwandelt. Nachdem die gerösteten Erze sehr fein gemahlen worden sind, werden dieselben dem Anquicken übergeben, worunter man das Zusammenmengen des Erzmehls mit Wasser, Eisen und Quecksilber in rotirenden Fässern versteht. Die Einrichtung eines solchen Fasses finden wir Taf. 7, Fig. 1 u. 2 dargestellt. Die mit starken eisernen Reifen abgebundenen hölzernen Fässer a sind an den beiden Böden mit Zapfen versehen, welche in Lagern ruhen und mittels eiserner Scheiben am Faß befestigt sind. Die eine dieser Scheiben ist gezahnt und dient als Stirnrad, um die rotirende Bewegung von der Antriebswelle g auf das Faß zu übertragen. Durch den Spund s, welcher durch einen Bügel und eine Schraube geschlossen wird, erfolgt das Füllen und Leeren des Fasses. Man füllt ein solches nun mit Erz (circa 10 Centner), Wasser und Eisen, läßt es eine Zeit lang umgehen und setzt, nachdem sich alles zu einem dicken Brei, in welchem alle löslichen, durch die Röstung gebildeten Salze aufgelöst sind, vereinigt hat, Quecksilber (circa 5 Centner) aus dem über dem Fasse liegenden Reservoir (Fig. 2b) hinzu, worauf das Faß längere Zeit, ungefähr 20 Stunden unausgesetzt rotirt wird. Während dieser Periode wird das Chlorsilber zerlegt, das abgeschiedene Silber vom Quecksilber aufgenommen und das gebildete Eisenchlorür von der Lauge gelöst. Am Ende des Processes füllt man das Faß mit Wasser, verdünnt dadurch den zähen Brei (Quickbrei) und vereinigt durch nochmaliges Rotiren das gebildete Amalgam, welches nach Beendigung des Processes [illegible]rch einen kleinen Spund abgelassen wird. Die Rück[illegible] entfernt man durch Oeffnen des großen Spundes [illegible]s und läßt sie in besondern Behältern sich sammeln, in welchen ihnen etwa noch anhaftendes, fein zertheiltes Amalgam entzogen wird. Das Amalgam enthaltende Quecksilber wird stark gepreßt, wodurch das silberhaltige Amalgam von dem silberfreien Quecksilber getrennt wird; in eisernen Retorten oder auf eisernen Tellern, die mit einer Glocke überdeckt sind, wird die Trennung des Silbers vom Quecksilber durch Destillation beendet. Die aus dem Amalgam entweichenden Quecksilberdämpfe werden unter Wasser condensirt und das zurückbleibende Silber, Ausglühmetall genannt, in Tiegeln umgeschmolzen.

Lange Zeit hat diese Art der Silbergewinnung siegreich das Feld behauptet, und heute noch hört man von den berühmten Anlagen des halsbrückener Amalgamirwerks bei Freiberg erzählen, welches in der Mitte der funfziger Jahre dieses Jahrhunderts eingegangen ist; allein durch die Vervollkommnungen der Schmelzprocesse und die Auffindung zweckmäßiger Methoden auf nassem Wege wurde dieser Proceß verdrängt, zumal da die bei demselben verloren gehende Silbermenge, ungefähr 5—9 Procent, zu sehr gegen seine sonstigen Vorzüge sprach. Dagegen hat sich die Amalgamation nach der amerikanischen Methode, begünstigt durch die klimatischen Verhältnisse der südlichen Gegenden, den Mangel an Brennmaterial und die Einfachheit der Apparate, sowie durch die Wohlfeilheit des Quecksilbers, erhalten und wird, solange nicht ganz neue Methoden aufgefunden werden, auch fernerhin der Silbergewinnung dienen. Die Bildung des Chlorsilbers, die Zersetzung desselben und Bildung des Amalgams wird nach dieser Methode in Haufen vorgenommen, in welche sowol die zur Chlorsilberbildung dienenden Reagentien als auch das Quecksilber gemengt werden. Diese Mengung geschieht durch das Durchtreten der Haufen, wozu man Menschen und Thiere benutzt.

An die Stelle der Amalgamation treten andere Processe auf nassem Wege, welche sich durch Einfachheit und schnelles Ausbringen der Metalle auszeichnen und rasch Eingang gefunden haben. Soviel als neue Methoden auf nassem Wege angegeben sind, sie beruhen alle auf den beiden letzten hüttenmännischen Operationen, nämlich dem

2. Auflösen und Fällen.

Der erstere Proceß besteht darin, daß man die zu trennenden Producte oder Erze durch ein Lösungsmittel in tropfbar-flüssige Form bringt, aus welcher man mittels der zweiten Operation, dem Fällen, durch Zusatz einer dritten Substanz einen der gelösten Bestandtheile in fester Form wieder ausscheidet.

Vorzüglich finden diese Processe Anwendung bei den Methoden der Silber- und Goldgewinnung, den sogenannten Extractionen nach Ziervogel und Augustin, der Gewinnung und Abscheidung des Kupfers als Cementkupfer, ferner bei der Scheidung des Silbers vom Golde, sowie endlich bei der Darstellung des Platins.

Nach der Ziervogel'schen Methode wird durch rein oxydirende Röstung in dem Erze eine Bildung von schwefelsaurem Silberoxyd hervorgerufen, welches mittels Wassers aufgelöst wird. Aus der Auflösung wird das Silber mittels Kupfer ausgefällt und als Cementsilber abgeschieden. Bei der Methode von Augustin bildet man, ähnlich wie bei der Amalgamation durch Röstung, Chlorsilber, und löst dieses mittels einer Kochsalzlauge aus dem Erz. Die Fällung des Silbers geschieht ebenfalls durch Kupfer. Anwendung finden diese Me-

thoden vielfach bei der Entsilberung von Kupfersteinen und Speisen, welche man wol auch besonders für diese Processe präparirt. Silberhaltige Kupfer und Kupfersteine kann man auch in Schwefelsäure, im erstern Falle unter gleichzeitiger Einwirkung von Luft, auflösen, wobei man Silber als festen Rückstand und eine Lösung von Kupfervitriol erhält, aus welcher letztern man das Kupfer durch Eisen cementirt oder Kupfervitriol auskrystallisiren läßt.

Für die Scheidung des Silbers vom Golde bedient man sich im Großen als Auflösungsmittel für das Silber der concentrirten Schwefelsäure. Man erhält dabei schwefelsaures Silberoxyd in Lösung, aus welcher durch Kupfer das Silber niedergeschlagen wird, während das Gold im metallischen Zustande zurückbleibt.

Platinerze behandelt man zur Gewinnung des Platins mit Salpetersäure und Salzsäure, wodurch dasselbe in Lösung gebracht wird, aus welcher man mittels Salmiak das Platin als Platinsalmiak abscheidet. Letztere Verbindung verwandelt man durch einfaches Glühen in metallisches Platin.

V. Eisenhüttenwesen.

Die Fabrikation des **Eisens** hat infolge der großen Wichtigkeit dieses Metalls so bedeutende Dimensionen angenommen, daß es nothwendig erscheint, der Metallurgie des Eisens ein besonderes Kapitel zu widmen.

Entgegengesetzt den meisten Metallen, deren Reinheit ihren Handelswerth bedingt, kommt das ganz reine Eisen fast gar nicht in der Technik zur Anwendung. Seine Verbindungen mit dem Kohlenstoff sind es, die das Eisen zu dem uns unentbehrlichen Metalle gemacht haben.

Diese Verbindungen des Eisens mit dem Kohlenstoff haben sehr verschiedene Eigenschaften.

Das kohlenstoffreichste Eisen, das **Roheisen**, ist bei circa 1400—1600 Grad C. tropfbar flüssig, unstreckbar, unschweißbar und mehr oder weniger hart; das **Schmiede- oder Stabeisen** hält am wenigsten Kohlenstoff, ist in den gewöhnlichen metallurgischen Feuern unschmelzbar, aber streck-, schweißbar und weich. Zwischen inne, ohne daß übrigens bestimmte scharfe Grenzen gezogen werden können, liegt in Bezug auf seinen Kohlenstoffgehalt der **Stahl**, in dem sich die Dehn- und Schweißbarkeit des Schmiedeeisens mit der Schmelzbarkeit und Härte des Roheisens vereinigen. Der Stahl kann sowol aus Roh- und Schmiedeeisen als auch aus Erzen direct hergestellt werden.

Zur Geschichte des Eisens sei hier nur kurz erwähnt, daß sich die Bekanntschaft des Menschen mit demselben bis in die fernsten Zeiten zurückdatirt. Dreitausend Jahre v. Chr. wußten die Aegypter und Juden Eisen darzustellen, welche Kenntniß sie wahrscheinlich von den Phöniziern erlangt hatten. Das steirische Eisen und die Eisensteingruben auf Elba waren schon 300 Jahre v. Chr. bekannt. Man schmolz reiche Eisenerze mit Holzkohlen in kleinen Herden und erhielt Eisen oder Stahl, je nachdem man die Erze anwandte, eine Arbeit, die heutigentags noch an manchen Orten betrieben wird. Man lernte jedoch auch bald ein kohlenstoffreiches, flüssiges Eisen, Roheisen, zu erschmelzen, und zur Zeit ist mit wenigen Ausnahmen die Grundlage des Eisenhüttenwesens die Darstellung eines Roheisens, aus welchem dann durch verschiedene Manipulationen die kohlenstoffärmern Eisen, **Stahl- und Schmiede- oder Stabeisen**, hergestellt werden.

Das Eisen findet sich sowol gediegen als auch vererzt, und zwar als letzteres in so ungeheuern Mengen in der Natur vor, daß die Eisenproduction der Erde zur Zeit weit über 150 Millionen Centner beträgt.

Nicht alle Eisenerze sind zur Eisenerzeugung zu verwenden, im allgemeinen eignen sich nur die Sauerstoffverbindungen des Eisens zur Darstellung im Großen.

Die wichtigsten Eisenerze sind die folgenden:

Magneteisenstein, Eisenoxyduloxyd, das im reinen Zustande reichste Erz, mit 72 Proc. Eisen.

Eisenglanz, Rotheisenstein, Eisenoxyd mit 70 Proc. Eisen.

Brauneisenstein, Gelbeisenstein, Eisenoxydhydrat mit 50—60 Proc. Eisen. Raseneisenstein, Wiesenerz, Sumpf- und Seeerz sind Brauneisensteine neuerer Bildung mit 40—45 Proc. Eisen.

Spateisenstein, Sphärosiderit mit circa 40—45 Proc. Eisen sind kohlensaures Eisenoxydul.

Thoneisenstein, ein mit Thon gemengtes Eisenerz (Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat).

Blackband, ein in der Kohlenformation vorkommender Thoneisenstein, der durch Kohle schwarz gefärbt ist, mit höchstens 48 Proc. Eisen.

Je nach ihrer Reinheit von fremden Beimengungen haben diese Erze verschiedenen Werth für den Eisenhüttenmann. Die schlimmsten Feinde der Darstellung eines guten Products sind Schwefel, Phosphor, Kupfer, Arsen, Silicium; Arsen ist in geringen Mengen noch am wenigsten gefährlich, Schwefel und Kupfer machen das Eisen rothbrüchig, d. h. es wird beim Schmieden in der Wärme rissig, Phosphor und Silicium aber machen das Eisen kaltbrüchig, d. h. es wird beim Bearbeiten in der Kälte spröde.

Der Eisenhüttenmann muß demnach die Erze auf obige Substanzen prüfen und solche, die zu reich an denselben sind, entweder aushalten, oder wenigstens nur zu Eisensorten verwenden, bei denen ein hoher Gehalt davon nichts schadet, wie z. B. zu Gußeisen, von dem in manchen Fällen keine große Festigkeit verlangt wird.

Eine Aufbereitung der Erze findet außer einer einfachen Handscheidung der beibrechenden Gangarten nicht statt. Manche sehr thonige Thoneisensteine werden gewaschen, indem man sie in Wassergräben stürzt und dem fließenden Wasser ein Abschlämmen des Thons überläßt.

Um aber die Erze theils aufzulockern, theils auch von unnützen und schädlichen Bestandtheilen zu befreien, läßt man sie entweder in großen Haufen jahrelang im Freien liegen, wodurch sie verwittern, namentlich beigemengte Theilchen von Schwefeleisen zu Eisenvitriol oxydirt werden, welch letzterer durch atmosphärische Niederschläge fortgeführt wird, oder man röstet die Erze in freien Haufen oder Schachtöfen, um Wasser und Kohlensäure zu entfernen sowie Eisenoxydul in Eisenoxyd zu verwandeln.

Das Rösten in freien Haufen und Stadeln geschieht, indem man, ähnlich wie auf Taf. 5, Fig. 4, das Erz mit Brennmaterial schichtenweise aufstürzt und das Ganze nachher in Brand bringt.

Durch das Rösten in Schachtöfen erzielt man ein vollkommener geröstetes Product, als in freien Haufen oder Stadeln. Man röstet entweder unter Zusatz von Brennmaterial, oder mit Hülfe der aus den Hohöfen entweichenden Gase. Von den verschiedenen Ofenconstructionen sei nur die eine hier erwähnt. Taf. 7, Fig. 3 u. 4 zeigt einen schwedischen **Eisensteinröstofen**, in welchem die eingeschichteten Erze mit den aus dem Hohofen entweichenden Gasen, deren Zusammensetzung später erwähnt werden soll, geröstet werden. Die unter der Gicht des Hohofens weggefangenen Gase strömen in einem eisernen Rohre, welches durch a mit

dem Kernschachte A zusammenhängt, und durch zehn Anzündlöcher bei b durch t und f in den Ofenschacht. Die Kanäle t sind von außen mit Thüren h, und diese wieder mit Oeffnungen versehen, durch welche die zur Verbrennung des Gases nöthige atmosphärische Luft eintreten kann. Durch die mit Thüren h verschlossenen Kanäle [illegible] beobachtet man den Fortgang der Röstung. Die Ofensohle B besteht aus fünf Flächen, die eine Pyramide bilden, von der jede schiefe Seite nach einer der fünf durch Thüren l verschließbaren Oeffnungen führt, aus welchen die gerösteten Erze ausgezogen werden, während man oben rohes Erz nachstürzt.

Die Schachthöhe eines solchen Ofens ist 5 Meter, der Durchmesser unten auf der Sohle 1,8 Meter, oben an der Gicht 1 Meter.

Die gerösteten oder rohen Erze werden in Walz-, Poch- oder Quetschwerken zerkleinert und sodann die reichen und armen zu einem gleichhaltigen Erzgemenge gattirt. Man bringt es zu einem Gehalte circa 30—50 Proc. Eisen, welcher erfahrungsgemäß das höchste Ausbringen an Eisen erlaubt.

Durch einfaches Glühen des Eisenerzes mit einer reducirenden Substanz würde man nun wol Eisen, aber in schwammiger, wenig zusammenhängender Form erhalten, und muß deshalb, um alles Eisen in einer geschlossenen Masse zu vereinigen, Körper zusetzen, die mit den Nebenbestandtheilen des Eisenerzes zu einem glasigen Stoffe, zusammenschmelzen und somit den einzelnen reducirten Eisentheilchen Gelegenheit geben sich zu einem Ganzen zu vereinigen.

Wenn nun die Beschaffenheit der Erze nicht bereits derart ist, daß ihre Nebenbestandtheile an und für sich schon eine Schlacke bilden können, wie dies z. B. mit den Dannemora-Eisensteinen, steirischen Spateisensteinen und einzelnen Kohleneisensteinen der Fall ist, so werden bei kieselerdereichen Erzen Kalkstein, Dolomit, Flußspat als Flußmittel oder — was seltener der Fall ist — bei kalkreichen Erzen kieselerdereiche Zuschläge, wie Quarz, Quarzfels, gegeben.

Es erhellt aus dem Vorstehenden, daß die Schlacke ein Gemenge von kieselsauren Salzen ist, worin sich Kieselerde mit Kalk, Magnesia, Thonerde u. s. w. zu einem Ganzen vereinigt haben.

Im allgemeinen richtet man die Schmelzbarkeit der Schlacken so ein, daß die Schmelzung des Eisens gleichzeitig mit der der Schlacken oder etwas früher eintritt, und beschickt ferner schwer reducirbare und leicht reducirbare Erze so, daß man bei jenen eine schwer, bei diesen eine leicht schmelzbare Schlacke erhält.

Das Brennmaterial und Reductionsmittel, durch welches die nöthige Hitze zum Schmelzen erzeugt und zugleich das Eisenoxyd zu Metall reducirt wird, ist in der Regel Coak, nur wenige Hütten arbeiten noch mit Holzkohlen, und zwar eben nur solche, welche Holzkohlen billig haben und ein Eisen von ganz besonderer Güte erzeugen wollen. Holzkohlen haben vor dem Coak den Vorzug größerer Dichte und eines geringern, von fremden und schädlichen Bestandtheilen freien Aschengehaltes. Das Holzkohlenroheisen ist deshalb stets ein besseres als das Coakroheisen.

Die Darstellung des Roheisens wird in Gebläseschachtöfen vorgenommen, die man in **Blauöfen**, Oefen mit geschlossener Vorwand (Brust), und in **Hohöfen**, Schachtöfen mit offener Brust, eintheilt.

Taf. 7, Fig. 5 u. 6 zeigen den senkrechten Durchschnitt und den durch die Formen gelegten Querschnitt eines **Hohofens**. Einen solchen wird man stets, wenn **es angeht, an einen Bergabhang legen, um die zu verarbeitenden Erze und Brennmaterialien in der Nähe der Gicht** (oberste Oeffnung des Schachtes) ablagern zu können. Andernfalls **müssen alle Schmelzmaterialien** bis auf die **Höhe der Gicht gehoben** und auf einer Brücke nach derselben **befördert werden.**

Der auf der Zeichnung mit **Erz und Brennmaterialien** gefüllte Schacht, **Kernschacht**, **erweitert sich nach unten** bis c, geht dort in die Rast D **und das** Gestell C über und endet in dem Herde H.

Der **Kernschacht** wird **gebildet aus dem Schacht**futter a, welches von **dem Rauhgemäuer** c durch eine mit schlechten Wärmeleitern gefüllte **Schicht** b getrennt ist, die dem Kernschacht **beim Ausdehnen** in der Wärme den nöthigen Spielraum **gestattet.**

Das Rauhgemäuer ist **entweder gut verankert** oder ganz von Ringen aus Blech **oder Gußeisen**, die zusammengenietet oder verschraubt sind, umgeben.

Das Gestelle oder der verengte **Schmelzraum** C, welcher mit dem weitesten Theile des Kernschachtes, **Bauch** oder **Kohlensack** genannt, **durch** die Rast D zusammenhängt, ist der wichtigste **Theil des Ofens** und muß aus dem feuerfestesten **Material hergestellt werden.**

Die das Gestell und die Rast **bildenden** Steine heißen, gegenüber der Brust gelegen, **Rücksteine**, nach der Brust zu Tümpelsteine tt, auf den Seiten **(Ulmen)** des Ofens Backensteine. Der **unterste Tümpelstein** wird durch eine starke Eisenplatte, **Tümpeleisen**, getragen und von außen werden die **Tümpelsteine** durch ein Blech geschützt, das **Tümpelblech.**

Der vordere Theil des Herdes **wird durch den Wall**stein W so weit geschlossen, daß **eine Art Vorherd** entsteht, durch den man unter den **Tümpelsteinen** hindurch in den hintern Theil des Herdes **und in** das Gestell gelangen kann, um die sich **während des Schmelzens** bildenden Ansätze entfernen zu **können. Damit** der Wallstein beim Arbeiten im Ofen **nicht beschädigt** wird, ist er durch eine eiserne Platte, **die Wallsteinplatte**, geschützt. Auf der einen Seite **liegt der Wall**stein dicht an den Backensteinen an, auf **der** andern Seite bildet er aber mit den Backensteinen **einen Schlitz,** Stich, der während des Schmelzens mit **Thon verschlossen** und nur um das Roheisen ablassen zu **können geöffnet** wird. Mit dem Stich steht die Schlackengasse, die seitwärts durch die Schlackentrift begrenzt **wird**, in Verbindung.

Die Sohle des Herdes bildet der Bodenstein g mit seitlicher Mauerung, derselbe liegt auf einer festgestampften Sandschicht o, in der sich Kanäle befinden, welche wiederum auf einer von Kanälen durchzogenen Mauer m liegen. B, Bruchsteinmauer, bildet den Grund, der auf den Kreuzgängen A ruht.

Wollte man einen solchen Ofen als Blauofen zustellen, so würde der Vorherd in Wegfall kommen und der offene Theil der Brust durch einen Stein geschlossen werden. Um dann Schlacken und Roheisen abstechen zu können, müßte man diesen Stein mit zwei übereinanderliegenden Oeffnungen versehen, von welchen die untere das Stichloch für Roheisen, die obere das für Schlacken sein würde.

Das Gestell beginnt über den Formen F, in welchen die den kalten oder warmen Gebläsewind zuführenden Düsen liegen; der Stein oder das Stück, in welchem die Formen eingelassen werden, heißt das **Formstück** oder der **Formstein.**

Selbstverständlich müssen alle Theile, die einen so hohen Hitzegrad aushalten müssen, aus dem feuerfestesten Material hergestellt werden. Man nimmt entweder natürliche feuerfeste Steine, Gestellsteine, Sandsteine mit thonigem und quarzigem Bindemittel, Puddlingsteine, Glimmerschiefer u. s. w., oder bildet Steine aus feuerfestem Thon. Sehr vortheilhaft hat man auch nach Schablonen Rast und Gestelle aus feuer-

festem Thon gestampft und so Rast und Gestelle aus einem Stück gebildet.

Ebenso muß der Kernschacht aus gutem feuerfesten Material hergestellt werden. In das Rauhgemäuer legt man Anzüchte, um der im Mauerwerk befindlichen Feuchtigkeit Gelegenheit zum Entweichen zu geben.

Die Formen und Dimensionen der Hohöfen sind außerordentlich verschieden. Der Querschnitt des Schachtes ist meistens ein Kreis, selten ein Vieleck, die Rast bildet einen abgestumpften Kegel, das Gestell ist aber fast immer länglich viereckig.

Im allgemeinen gibt man dem Kohlensack, dem Ende des Kernschachtes, eine Weite von 0,2—0,3 der ganzen Schachthöhe, und zwar bei Holzkohlenöfen 1,6—2,6 Meter, bei Coaköfen 3,3—4,6 Meter. Der Kohlensack befindet sich, vom Bodenstein ab gerechnet, in 0,25—0,4 der ganzen Schachthöhe, bei strengflüssigen Erzen legt man ihn höher, bei leichtflüssigen tiefer.

Die Ofenhöhe richtet sich nach dem Brennmaterial. Holzkohlenöfen macht man 8,6—11,6 Meter hoch, Coaköfen aber 13,3—16,5 Meter, selten 20 Meter. Es gibt aber auch solche bis zu 25 Meter Höhe.

Die Gicht, das oberste Ende des Schachtes, ist 0,4—0,5 des Kohlensackdurchmessers weit. Der Rast gibt man verschiedene Böschungswinkel, je nach der Beschaffenheit der Erze und des Brennmaterials.

Steile Rasten eignen sich namentlich für leicht reducirbare Erze, während man bei schwer reducirbaren Erzen der Rast eine weniger steile Böschung gibt. Der Rastwinkel richtet sich auch nach dem Brennmaterial. Bei Coakhohöfen gibt man einen größern als bei Holzkohlenöfen, weil der Coak langsamer als Holzkohle verbrennt und somit auch ein langsameres Niedersinken der Beschickung stattfindet.

Die Dimensionen des Gestells richten sich ebenfalls nach dem Brennmaterial und den Erzen. Bei Holzkohlenöfen bis zu 8,5 Meter Höhe macht man das Gestell 1,2—1,5 Meter, bei solchen bis zu 12 Meter 1,6—1,9 Meter, dagegen werden bei Coakhohöfen 2,0—2,5 Meter hohe Gestelle angewendet. Die Weite des Gestells richtet sich nach der nöthigen Temperatur. Bei Darstellung von grauem Eisen wendet man engere Gestelle an, als bei Erzeugung von weißem, welch letzteres viel weniger Hitze als das graue Roheisen verlangt.

Die meisten Hohöfen haben drei durch Wasser kühlbare Formen, also auch drei Düsen, deren Lage auf Fig. 6 ersichtlich ist. Sie liegen in einem Niveau mit dem untersten Tümpelstein, und zwar so, daß nur in der Brust keine Form liegt. Bei Oefen mit einer Form legt man dieselbe in den Rücken gegenüber der Brust, zwei Formen legt man sich gegenüber in die Seiten des Ofens.

Dem Inbetriebsetzen eines neuen Hohofens geht ein sehr sorgfältiges Anwärmen voraus. Nachdem der Ofen lufttrocken geworden ist, macht man in den Vorherd unter den Tümpelstein ein kleines Torffeuer, rückt mit demselben in den Herd und füllt nach und nach Gestell, Rast und Schacht mit Brennmaterial so an, daß bis zum vollständigen Füllen ein Zeitraum von circa sechs Wochen verstreicht.

Sind die Kohlen etwas niedergebrannt, so kann das erste Aufgeben der Beschickung erfolgen. Man setzt schwach, d. h. man gibt nur wenig Erzgemenge. Während des Anwärmens und dem ersten Aufgeben ist der Herd ganz offen, erst wenn nach dem langsamen Niedersinken der Beschickung sich die ersten Schmelzproducte zeigen, wird nach sorgfältigem Reinigen des Herdes von Asche der Wallstein eingesetzt und der Ofen geschlossen. Erst dann wird das Gebläse schwach angelassen, weshalb die ohne dessen Mithülfe niedergeschmolzenen Erzgichten **stille Gichten** genannt werden. Man steigert nun das Aufgeben des Erzes und verstärkt das Gebläse. Wenn sich im Herd eine genügende Menge Roheisen angesammelt hat, so erfolgt der erste Abstich, ohne Abstellen des Gebläses, während bei allen spätern Stichen die Gebläseluft weggenommen wird.

Nach dem ersten Stich, und überhaupt, wenn nothwendig, nach jedem Stich wird der Herd von Ansätzen gereinigt. Solche Ansätze bilden sich namentlich zu Anfang einer Schmelzcampagne — so nennt man die Zeit zwischen dem ersten und letzten Abstich — bei niedriger Temperatur. Nach dem Reinigen des Herdes wird der Raum zwischen Wallstein und Tümpelstein durch einen Thonbewurf geschlossen und nun in regelmäßigen Zwischenräumen Brennstoff und Erzbeschickung oben auf die Gicht gegeben. Bei Coakhohöfen wird alle 12 Stunden das sich ansammelnde Roheisen abgestochen und inzwischen die sich aufdämmende Schlacke über den Wallstein und die Schlackentrift abgelassen. Die Schlacken werden meistentheils zu Schlackenziegeln verwendet, indem man sie in große Ziegelformen laufen läßt und des bessern Zusammenhaltes wegen Kohlenschlacken in die flüssige Schlacke einstampft. Das Roheisen wird in Formen abgestochen, welche vor dem Hohofen auf der Hüttensohle aus Sand geschlagen werden. Die festen Roheisenblöcke nennt man **Barren** oder **Gänze**. Die tägliche Roheisenproduction eines Coakhohofens kann bis auf 500 Centner und mehr gebracht werden.

In dem Hohofen finden verschiedene chemische Processe statt, die Fig. 5 auf Taf. 7 verdeutlichen soll.

Beschickung und Brennmaterial gelangen zunächst von der Gicht in die sogenannte Vorwärmzone a b, wo das Gemenge beider vollständig vorgewärmt und ausgetrocknet wird. Bei b hat das den Schacht füllende Gemenge eine Temperatur von circa 400 Grad C. angenommen und gelangt nun in die Reductionszone b c. Durch die aus dem glühenden Brennmaterial entstehenden reducirenden Gase wird Eisenoxyd zu Metall reducirt, was am Ende des Kernschachtes im Kohlensack bei einer Temperatur von circa 1000—1200 Grad C. vollständig erfolgt sein soll. Das Eisen ist hier in schwammigem Zustande und schmiedbar. Je tiefer es sinkt, desto höher wird die Temperatur, und in der sogenannten Kohlungszone c d, in welcher sich die Hitze bis auf circa 1600 Grad steigert, nimmt das Eisen Kohlenstoff in sich auf und wird schmelzbar. Es gelangt nun in die Schmelzzone d e, sättigt sich während des Zusammenschmelzens mit Kohlenstoff und sammelt sich schließlich, nachdem es die Verbrennungszone e f durchlaufen und eine Temperatur von 2000—2500 Grad erlangt hat, im Herde.

Die aus den Nebenbestandtheilen des Erzes und aus den der Schlackenbildung wegen dem Erze beigemengten Zuschlägen entstehende Schlacke hat den Zweck, das gekohlte und schmelzende Eisen, während es die Verbrennungszone durchläuft und im Herde sich ansammelt und verbleibt, vor dem oxydirenden Einfluß der Gebläseluft zu schützen. Fehlte die Schutzhülle der Schlacke, so würde in der Verbrennungszone nicht nur die Kohle des Brennstoffs durch die Gebläseluft oxydirt werden, sondern auch der vom Eisen aufgenommene Kohlenstoff, und man erhielt ein unschmelzbares Stabeisen. Der Schmelzpunkt der Schlacke ist dabei so zu halten, daß die Schlacke erst zu schmelzen und sich zu bilden beginnt, wenn alles Eisen zu Metall reducirt ist, damit die Schlacke so wenig als möglich Eisenoxyd aus dem Erze in sich aufnehmen und somit dem Ausbringen entziehen kann.

Betrachten wir nun der Reihe nach die verschiedenen

Producte des Hohofenprocesses, und zwar zuerst das wichtigste, das **Roh-** oder **Gußeisen**.

Je nach den Verhältnissen, unter welchen es erzeugt wurde, hat dasselbe verschiedene Eigenschaften, und zwar ist es hauptsächlich der im Roheisen enthaltene Kohlenstoff, welcher diese bedingt.

Es gibt eine Menge verschiedene Roheisensorten, die sich jedoch im allgemeinen unter die zwei Hauptsorten, **weißes** und **graues Roheisen**, vereinigen lassen. Wie schon der Name sagt, unterscheiden sich beide Abtheilungen hauptsächlich durch die Farbe, und zwar wird dieselbe hervorgerufen durch die Art und Weise, **wie der Kohlenstoff im Eisen enthalten ist**. Beide, sowol das weiße als graue Roheisen, können gleichviel Kohlenstoff enthalten, im weißen Roheisen ist jedoch sämmtlicher Kohlenstoff chemisch gebunden, während im grauen nur ein Theil, und zwar der geringere chemisch gebunden, der andere Theil aber nur mechanisch beigemengt ist.

Das **weiße Roheisen** ist fast silberweiß, von starkem Glanz, großer Härte und Sprödigkeit. Es enthält 4—5,5 Proc. chemisch gebundenen Kohlenstoff. Abarten desselben sind **Spiegeleisen**, das kohlenstoffreichste von großblätterig krystallinischem Gefüge und silberweißer Farbe, **blumiges Floß**, von strahlig faseriger Structur und ins Bläulich-Graue übergehender Farbe, **luckiges Floß**, in Bezug auf Bruch, der zackig ist, und mehr graue Farbe der Uebergang zu dem **grauen Roheisen**, dessen chemisch gebundener Kohlenstoff 0,5—2 Proc. beträgt und dem außerdem noch 3—3,7 Proc. Kohlenstoff mechanisch beigemengt sind. Dieser letztere in Form von schwarzen Graphitblättchen gibt dem Roheisen die graue bis grauschwarze Farbe. Der Bruch ist körnig bei feinschuppig, und die Härte weniger groß als die des weißen Roheisens. Zeigt ein Roheisen in einem Stücke sowol weißes als graues, so nennt man es **halbirtes** oder **Forelleneisen**, ein namentlich zu Gußwaaren sehr taugliches Roheisen.

Das weiße Roheisen schmilzt am leichtesten, das graue verlangt zu seiner Bildung eine höhere Temperatur, ist aber viel dünnflüssiger und wird deshalb vorzüglich zu Guß verwendet. Das graue Roheisen ist auch weich genug, um sich drehen, feilen, hobeln, kurz bearbeiten zu lassen, während das weiße so hart ist, daß es jeder Feile u. s. w. widersteht. Das graue Roheisen kann übrigens in weißes, und umgekehrt dieses wieder in graues verwandelt werden. Wird graues Roheisen umgeschmolzen und plötzlich abgekühlt, so verwandelt es sich in weißes körniges, und wird weißes körniges Roheisen umgeschmolzen und einer langsamen Abkühlung überlassen, so entsteht graues Roheisen.

Die Bildung der verschiedenen Roheisensorten ist nicht nur vom Erz, sondern auch von der Temperatur abhängig. Allgemein kann man sagen, daß das weiße Roheisen bei niedrigerer Temperatur und aus leichtflüssigern Erzen erzeugt wird, als das graue.

Man spricht während des Schmelzens von einem **garen Ofengang**, wenn die Eisenerzeugung bei einem richtigen Verhältniß zwischen Erz, Zuschlag und Brennmaterial stattfindet; die Schlacke ist dann immer hell von Farbe, hält nur wenig Eisenoxyd und man erzielt meist ein weißes Roheisen. Der Ofengang wird zum **Rohgang** oder zum **übersetzten**, wenn wegen Mangel an Brennmaterial die Temperatur zu niedrig, nicht alles Eisenoxyd, resp. Eisenoxydul, zu Metall reducirt und die Schlacke durch Aufnahme von Eisenoxydul dunkel gefärbt ist. **Ueberhitzter heißer**, [illegible] Ofengang findet statt, wenn man mehr [illegible] gebraucht, als zur Reduction und Kohlung nothwendig ist, und man wird dabei immer ein graues Roheisen erzeugen.

Von den Kohlenstoffgehalten verschiedener Roheisensorten gibt nachstehende Tabelle eine Uebersicht.

Chemisch gebundener Kohlenstoff:

Spiegeleisen.	Blumiges Floß.	Halbirtes Roheisen.	Graues Roheisen.
5,14 Proc.	4,92 Proc.	2,78 Proc.	0,48 Proc.

Graphit mechanisch beigemengt:

— Proc.	— Proc.	1,99 Proc.	3,85 Proc.

Von der Wichtigkeit und dem Zwecke der Hohofenschlacken ist bereits die Rede gewesen. Die Zusammensetzung derselben erhellt aus dem Folgenden:

A	B	O	E	
52,80	53,79	41,41	28,32	Kieselerde.
0,40	13,04	10,56	24,24	Thonerde.
5,60	25,67	25,31	40,12	Kalkerde.
9,00	0,57	0,42	2,79	Bittererde.
1,40	2,44	1,42	0,27	Eisenoxydul.
26,20	2,20	20,66	0,07	Manganoxydul.
—	—	—	0,64	Kali.
—	—	—	0,26	Gips.
1,6	—	—	—	Schwefel.
—	—	—	3,38	Schwefelcalcium.

A ist eine grüne Schlacke von Spiegeleisenerzeugung.

B eine grüne Schlacke von der Darstellung von halbirtem Roheisen.

O eine olivengrüne krystallinische Schlacke bei garem Ofengange erschmolzen.

E eine solche Schlacke von weißer Farbe.

Die **Hohofengase**, die gasförmigen Producte des Hohofenprocesses, deren Gehalt an brennbaren Gasen, d. i. Kohlenoxydgas und Wasserstoffgas, sie noch verwendbar zu technischen Zwecken macht, läßt man nicht mehr wie früher an der Gicht nutzlos verbrennen, sondern benutzt sie, indem man sie an oder unterhalb der Gicht abfängt, zum Erwärmen der Gebläseluft, Rösten von Eisensteinen, Feuern von Dampfkesseln u.s.w. Taf. 7, Fig. 7 stellt einen Apparat dar, mittels welches man die Gase oberhalb der Gicht abfängt und sie an den Punkt leitet, an welchem sie Verwendung finden sollen. Ein auf der Gicht und dieselbe umschließender konischer Ring wird von dem Gichtmantel r umhüllt, circa 0,8 Meter über der Gicht beginnt das in den Gichtmantel eingelassene Gasrohr q, welches oben in das wagerechte Gasleitungsrohr ausmündet und unten mit einem ringförmigen Kanal zusammengenietet ist, der mit Wasser gefüllt und in welchen die Gichtglocke p mit eingreift. Die Gichtglocke kann durch den Hebel t gehoben werden. Der Gichtmantel besitzt die nöthigen Oeffnungen, um die Beschickung, die auf Hunden zugeführt wird, ausstürzen zu können. Die Gasröhre q hat eine Thür, damit sie gereinigt werden kann, und außerdem ein durch Hebel bewegliches Ventil s, durch welches überschüssige Gichtgase sich entfernen lassen. Die Gichtgase sind demnach gezwungen, durch das Gasrohr in das wagerechte Gasleitungsrohr zu gehen, welches die Gase an den Punkt führt, wo sie verwendet werden sollen und wo sie unter Zuführung von atmosphärischer Luft verbrannt werden. Alle Fugen des Apparates werden sorgfältig mit Thon verschmiert, damit beim Abfangen der Gase keine Luft zutreten kann. Die Gichtgase würden sonst an der Gicht verbrennen, ebenso muß die Gasleitung vollständig luftdicht schließen.

Fig. 8 zeigt einen **Winderhitzungsapparat**, in welchem die im Hohofen zu verwendende Gebläseluft erst

vorgewärmt wird. In einem oberhalb der Gicht liegenden gemauerten Raume liegen 16 Röhren in vier Etagen übereinander. Je zwei der Röhren sind durch Kniestücke verbunden. Die Gebläseluft tritt in die vom Beschauer zu oberst rechts liegende Röhre ein, und nachdem sie alle Röhren passirt hat, durch die rechts zu unterst liegende Röhre aus, welche mit einer Röhrleitung in Verbindung steht, welche die Luft zu den Düsen führt. Die heißen Gichtgase streichen durch den an der Gicht A befindlichen Fuchs in der Richtung der Pfeile, um sämmtliche Röhren, und entweichen durch den kleinen Schornstein s, dessen Zugkraft durch ein Ventil geregelt werden kann. Nachstehende Analyse zeigt die Zusammensetzung der Gichtgase, die aus einem 10 Meter hohen Hohofen 1 Meter unter der Gicht weggefangen wurden:

12,01	Proc.	Kohlensäure.
24,65	»	Kohlenoxyd.
5,19	»	Wasserstoff.
0,39	»	Grubengas.
57,22	»	Stickstoff.

Von den verschiedenen Verwendungen, welche das Roh- oder Gußeisen erfährt, betrachten wir zunächst die zu Eisengußwaaren. Man benutzt hierzu hauptsächlich ein halbirtes graues Roheisen, das mit großer Dichtigkeit und Festigkeit genügende Weichheit zu weiterer Bearbeitung verbindet, namentlich aber beim Gießen die Formen scharf ausfüllt und nicht zu schnell nach dem Guſſe erstarrt.

Man kann direct aus dem Hohofen gießen; in den bei weitem meisten Fällen schmilzt man jedoch das Gußeisen noch einmal um, und zwar entweder in Graphittiegeln beim Gießen kleinerer Stücke, oder in Schacht- und Flammenöfen.

Die Flammenöfen sind ganz ähnlich construirt, wie der auf Taf. 6, Fig. 1 und 2. Das Gußeisen wird auf dem feuerfesten Herd eingeschmolzen und dann durch das Stichloch abgestochen, und zwar entweder direct in die betreffende Form oder Formen oder in eiserne, mit Thon ausgekleidete Pfannen.

Am häufigsten findet jedoch das Umschmelzen in Schachtöfen mit rundem cylindrischen Schachtquerschnitt, Cupolöfen genannt, statt.

Taf. 7, Fig. 9 u. 10 zeigen einen Cupolofen für Coakfeuerung. a gemauertes Fundament mit Anzucht, b feuerfester Herd, d Kernschacht, c Rauhgemäuer, umgeben von eisernen verschraubten Platten f, g Vorherd, aus welchem das Roheisen geschöpft oder durch l abgestochen wird. Die aus dem Ofen tretenden brennenden Gase werden durch den Gichtmantel x zusammengehalten und dienen zur Erwärmung der für das Niederschmelzen des Roheisens nöthigen Gebläseluft. Der Apparat besteht aus zwei hohlen, durch die Röhren t verbundenen Kasten s, welche mittels Stützen d auf der Gicht ruhen. Die Gebläseluft, gewöhnlich durch einen Ventilator erzeugt, tritt durch p in den obern Kasten s, von diesem durch die Röhren t in den zweiten Kasten s, wird auf diesem Wege stark erhitzt und gelangt durch o q um die Düse r in den Ofenschacht.

Man schmilzt das Roheisen entweder mit Coak oder Holzkohlen. Während bei den Hohöfen die Holzkohlenöfen kleiner als die Coaköfen waren, tritt bei den Cupolöfen der umgekehrte Fall ein.

Coakscupolöfen sind 2,5—3 Meter hoch, Holzkohlenöfen 3,9—5,4 Meter, kleine einförmige Oefen haben einen Durchmesser von 0,45—0,66 Meter; bei Anwendung von mehr Formen, sowie bei leichtflüssigem Roheisen und gutem Coak ist der Schachtdurchmesser 0,9—1,8 Meter groß. In neuerer Zeit werden Cupolöfen gebaut, die an der Gicht $1/_8$—$1/_4$ weiter als am Boden sind, auch hat man solche, die auf Rädern ruhen und an beliebigen Orten aufstellbar sind. Die Formen liegen bei Holzkohlen 0,3—0,35 Meter, bei Coak je nach der Beschaffenheit der Coaks, der Windmenge und Windpressung 0,45—0,6 Meter über dem Boden.

Man wendet 1—6 Formen an, wenn viele Formen nöthig sind, legt man diese in zwei Reihen übereinander. Cupolöfen können stündlich 15—20 Centner Roheisen liefern, im Herde selbst können je nach der Ausdehnung desselben 100—300 Centner angesammelt und entweder auf einmal abgestochen oder nach und nach verwendet werden.

Das geschmolzene Roheisen wird entweder direct in die Formen geleitet oder in mit Thon ausgestrichenen eisernen Gießpfannen aufgefangen und in diesen nach den zu füllenden Formen transportirt.

Ein besonders wichtiger Theil der Eisengießerei ist die Herstellung der Formen, und je nach dem dazu benutzten Material hat man Sand-, Lehm- und Schalenguß.

Der Sand, den man je nach seinem Thongehalt in fetten und magern Sand unterscheidet und der sich infolge seines Thongehaltes ballen läßt, wenn er mit Wasser befeuchtet wird, muß vor allem so fein sein, daß er auch von den zartesten Gegenständen tadellose Abdrücke gibt, und außerdem so viel Halt haben, daß die schärfsten Kanten und Ecken stehen bleiben.

Formen aus magerm Sand, wol auch feuchter Sand genannt, werden nicht getrocknet, das hineingegossene graue Roheisen erkaltet deshalb sehr schnell und eine dünne Schicht seiner Oberfläche wird in weißes Roheisen, also in ein härteres Eisen verwandelt. Damit die beim Gießen in feuchte Formen sich entwickelnden Gase entweichen können, werden Luftlöcher, Windpfeifen genannt, angebracht. Man unterscheidet beim Sandguß Herd- und Kastenguß. Erstern wendet man für Gegenstände an, die nur auf einer Seite bestimmte Form zeigen, auf der andern aber flach sind, indem man das betreffende Modell in auf der Hüttensohle ausgebreiteten Formsand eindrückt. Kastenguß, bei welchem sich die in Sand geformte Form in einem hölzernen oder eisernen Kasten befindet, wendet man für feinen Guß und alle Gegenstände an, die nach jeder Richtung hin eine besondere Gestalt zeigen. Der Formsand wird bei Herdguß mit einem Drittel, bei Kastenguß, wo mehr Festigkeit verlangt wird, mit nur einem Fünftel Kohlenpulver versetzt und locker gemacht, damit die nach dem Einguß des Roheisens entstehenden Gase und Wasserdämpfe besser entweichen können.

Die Kästen zum Kastenguß sind viereckige offene Kästen aus Holz oder Eisen. Manche Formen verlangen, daß man zwei und drei Kästen übereinandersetzen muß, dann werden die Berührungsflächen der einzelnen Kästen, um ein Zusammenkleben derselben zu verhindern, mit feinem Sand abgestreut. Modelle, die eingeformt werden müssen, bestreut man zuvor mit Kohlenstaub, damit sie leicht aus dem Sande herausgenommen werden können, und formt schwache Stäbchen mit ein, die bis in die Form reichen, bei deren Herausziehen man die für die Gase nöthigen Windpfeifen erhält. Das Gießloch, d. h. die Oeffnung, durch welche das Roheisen eingegossen wird, ist stets an der höchsten Stelle, um Modelle womöglich in senkrechter Stellung einzuformen, weil durch höhern Druck ein dichterer Guß erzielt wird.

Wenn in fettem Sand geformt wird, so müssen die Formkästen von Eisen sein, weil Formen aus fettem

Sand vor dem Guß gut und scharf ausgetrocknet werden müssen, um ein Auftreten explosiver Gase zu vermeiden. Man wendet fetten Sand namentlich für Stücke an, bei deren Guß ein Zusammenbrechen von gewöhnlichen Sandformen zu fürchten wäre, wie z. B. für Röhren-, Kanonenguß.

Der zu dem Lehmguß kommende Lehm wird, bevor er verwendet wird, fein gesiebt, und um ein Reißen beim Trocknen zu verhüten, mit Kuhhaaren, Strohhäcksel oder Pferdemist nach gehörigem Anfeuchten durchknetet. Der Lehmguß wird vorzüglich beim Guß hohler Gegenstände angewendet, wie Glocken, Kessel u. s. w.

Man formt zunächst den Kern, entsprechend dem Hohlraum des zu gießenden Gegenstandes. Auf den Kern kommt das Hemd, d. h. das Modell des Gußstückes, auf dieses wiederum der Mantel, die Umhüllung des Ganzen. Nachdem dieser fertig, wird der Mantel wieder in Stücke geschnitten, das Hemd losgelöst und der Mantel wieder umgelegt, sodaß also der Raum, den das nun fehlende Hemd eingenommen, von dem später einzugießenden Eisen eingenommen wird und somit die Eisenstärke bildet. Jede aufgetragene Lehmschicht von Kern, Hemd und Mantel wird jedesmal entweder durch ein direct angebrachtes Feuer, oder indem man die Form in eine Trockenkammer bringt, bei circa 150—200 Grad getrocknet. Auch muß, damit das Hemd vom Kern und vom Hemd der Mantel sich gut trennen läßt, Kern und Hemd nach dem Trocknen mit in Wasser aufgerührter Asche angepinselt werden.

Nach dem Entfernen des Hemdes wird Mantel und Kern noch einmal getrocknet und schließlich vor dem Gusse mit Leimwasser und Kohlenstaub bestrichen. Einguß und Windpfeifen werden für sich geformt und in den Mantel eingesetzt.

Complicirtere Formen, wie z. B. Statuen, werden auf dem gebrannten Kern in Wachs abgeformt, und zwar auf folgende Weise: Man macht von dem Modell einen Gipsabguß, schneidet diese Hohlform in so viel Stücke, als des Abhebens des Mantels wegen gemacht werden müssen, gießt die einzelnen Hohlformen mit Wachs aus und setzt dann diese Wachsformen vorsichtig auf dem Kern zum vollen Modell zusammen. Die zusammengesetzte Wachsform erhält nun einen mehrmaligen Ueberzug von feingeschlämmtem Thon und Graphit, und sodann einen bedeutend stärkern von gewöhnlicher Formmasse. Nach dem Trocknen des ganzen Ueberzugs schmilzt man das Wachs aus den Formen heraus.

Der Schalenguß erfolgt in gußeisernen Formen, die vor dem Eingießen gut abgewärmt und mit Graphit ausgestrichen werden müssen.

Bei dem Schalenguß wird die äußere Oberfläche des Gußstücks immer sehr schnell erkalten, da die Masse der Form, das Eisen, ein sehr guter Wärmeleiter ist und ein schnelles Erstarren der Oberfläche des Gußstücks hervorrufen muß. Die bereits erwähnte Eigenschaft des flüssigen grauen Roheisens, bei schnellem Erkalten in weißes und viel härteres Roheisen überzugehen, macht den Schalenguß ganz besonders geeignet zum Guß von Eisenbahnwagenrädern, namentlich aber zur Herstellung von Walzen zu Blechwalzwerken, von denen eine bedeutende Härte verlangt wird.

Das Innere einer durch Schalenguß erzeugten Blechwalze besteht aus unverändertem grauen Roheisen, das zäh und weich genug ist, um die Walze vor leichtem Zerbrechen zu bewahren. Um nun nur der Oberfläche der Walze die harte Schale zu geben, werden die Zapfen einer solchen für sich in den Sand geformt. Man stellt den gut ausgebrehten und stark gegossenen Formcylinder für den Walzenkörper auf den Formkasten des einen Zapfens, setzt den Formkasten für den zweiten Zapfen oben auf und leitet den Strahl des einzugießenden Roheisens so, daß es schraubenförmig in der gesammten Form von unten nach oben steigt, und alle Unreinheiten, wie Schlacke, Sand u. s. w. oben absetzt.

Nach dem Guß und dem Auspacken der Gußstücke werden die Gußzapfen, die Gießnähte u. s. w. abgeschlagen, der angebrannte Sand abgeputzt und fertige Gegenstände mit einem Anstrich von Theer und Graphit versehen. Manche Gußstücke, die weiter bearbeitet werden müssen, sind jedoch infolge zu schneller Abkühlung nach dem Gusse so hart geworden, daß sie gegen Feile und Meißel unangreifbar geworden sind. Sie müssen deshalb adoucirt, getempert, d. h. weich gemacht werden. Man adoucirt, indem man Gußstücke lange und stark glüht und dann sehr langsam abkühlen läßt. Das auf der Oberfläche weiße Roheisen wird hierdurch in graues und weiches verwandelt.

Durch chemische Zusätze während des Adoucirens kann man nicht blos die Oberfläche, sondern auch das ganze Gußstück weich machen und so in hämmerbaren Guß verwandeln. Zu diesem Zwecke hüllt man das Gußstück während des Glühens in eine Substanz ein, die dem Eisen Kohlenstoff entziehen kann. Als solche entkohlende Körper, Cementirpulver genannt, können Braunstein, Eisenhammerschlag, rothes Eisenoxyd fungiren. Man stellt auf diese Weise alle jetzt aus Guß Gegenstände dar, die man früher schmiedete.

Gußeisernes Kochgeschirr überzieht man im Innern zum Schutz gegen Rost mit einer Emailschicht, und zwar wie folgt. Man stellt sich zunächst die Masse dar, aus welcher die Emaille geschafft werden soll, und unterscheidet hierbei Grund- und Deckmasse. Erstere besteht aus einem Gemenge von 30 Theilen Quarzmehl, 30 Theilen Feldspat und 35 Theilen Borax, die zusammengeschmolzen und gemahlen mit $10^3/_4$ Theil Thon, 6 Theilen Feldspat, $1^3/_4$ Theil Magnesia gemischt werden. Die Deckmasse wird aus $37^1/_2$ Theilen Quarz, 24 Theilen Borax, 25 Theilen Zinnasche, 15 Theilen Bleiweiß, $11^1/_4$ Theilen Soda, 10 Theilen Salpeter und 5 Theilen Magnesia zusammengeschmolzen und die erhaltene Schmelze fein gemahlen.

Grundmasse sowie Deckmasse werden mit Wasser bis zu breiartiger Consistenz angerührt. Nachdem nun die betreffenden gußeisernen Gefäße zuerst mit verdünnter Schwefelsäure rein gebeizt, wird die Grundmasse im Innern mit einem Pinsel gleichmäßig aufgetragen und dann in einem Trockenofen getrocknet. Nach dem Trocknen wird die Grundmasse in einem Emaillirofen, der viele Töpfe auf einmal faßt, eingebrannt. Auf die erkaltete Grundmasse wird die Deckmasse gestrichen, getrocknet und wie die Grundmasse eingebrannt, und zwar so, daß sie eine vollständige Glasur bildet.

Die Gießhütte, Taf. 7, Fig. 11, gibt ein Bild von dem Abstich aus dem Cupolofen. Das Roheisen wird hier in mit Thon ausgestrichene eiserne Pfannen abgestochen. Vermittels gabelförmiger Handhaben werden die kleinen Pfannen von den Arbeitern nach den Formen getragen und dort entleert. Größere Pfannen werden von Laufkranen, wie einer im Vordergrund der Zeichnung steht, gefaßt und nach den Formen geschafft.

Stabeisenfabrikation. Die Verwandlung des Roheisens in Stabeisen, d. i. der Proceß, mittels

welchem dem Roheisen fast aller Kohlenstoff und alle übrigen fremden Bestandtheile bis auf ein Minimum entzogen werden, heißt der Frischproceß, und man unterscheidet von diesem zwei Arten, und zwar den Herd- oder deutschen Frischproceß und die englische Frischmethode, welche in Flammenöfen vorgenommen wird.

Die sogenannte Rennarbeit oder das Luppenfrischen, die Darstellung von Stabeisen direct aus Erzen, sei hier nur kurz erwähnt. Es ist diese Arbeit nur noch in Ländern gebräuchlich, wo Brennmaterial und Arbeit nur geringen Werth haben, und von intelligenten Eisenhüttenleuten schon längst wegen zu großer Kosten und Verluste verlassen worden. Man manipulirt bei der Rennarbeit einfach so, daß man leichtflüssige Erze mit Holzkohlen unter Zuführung von Wind reducirt und den erhaltenen Eisenklumpen, der Stahl und Stabeisen sein kann, direct ausschmiedet.

Das weiche, fast unschmelzbare Stabeisen, das kohlenstoffärmste Eisen, hat, wenn es den Anforderungen, die man an ein gutes Stabeisen stellen muß, entsprechen soll, entweder eine helle Farbe bei mattem Glanze, oder eine dunklere Farbe bei starkem Glanze. Es ist außerordentlich fest, sehr elastisch und zähe. In größern Stücken zeigt es körnigen Bruch, durch Walzen und Hämmern wird das krystallinische Gefüge fadenartig, und gewalztes Stabeisen hat einen sehnigen Bruch. In starker Weißglut ist es schweißbar. Der Kohlenstoffgehalt schwankt zwischen 0,2—0,5 Proc., ein sehr geringer Gehalt an Schwefel macht es rothbrüchig, ein solcher an Phosphor kaltbrüchig.

Zur Fabrikation von Stabeisen wird hauptsächlich weißes, und zwar kohlenstoffarmes Roheisen genommen, und wenn nur über graues disponirt werden kann, ist dieses vorher in weißes zu verwandeln, indem man es umschmilzt und ihm während des Schmelzens einen Theil seines Gehalts an Kohlenstoff und Silicium durch den Einfluß oxydirender Substanzen entzieht. Oder es wird graues Roheisen von genügender Reinheit einfach umgeschmolzen und sodann durch schnelles Abkühlen weiß gemacht. Dies geschieht durch Abstechen des flüssigen Roheisens in Wasser, Granuliren, oder durch das sogenannte Scheibenreißen, zu welchem Zwecke man auf das flüssige Roheisen Wasser gießt, die erstarrte Oberfläche von der darunterstehenden flüssigen Masse abhebt und mit dem Wasseraufgießen und Abheben der festen Scheibe so lange fortfährt, bis alles Roheisen in Scheiben verwandelt ist.

Solche Scheiben werden öfters nachgebraten, durch welche Manipulation man dem Eisen noch eine geringe Quantität Kohlenstoff entziehen will. Man stellt die Scheiben senkrecht zwischen Kohlenlösche in einer Art Backofen auf und bedeckt sie mit gleicher Lösche. Unter Luftzutritt verbrennt man die Kohle und entzieht dem Eisen eine kleine Menge Kohlenstoff, ohne daß es erheblich oxydirt.

Das aus grauem in weißes verwandelte Roheisen nennt man Feineisen.

Das deutsche Herdfrischen wird in offenen Herden vorgenommen. Die hierzu nöthigen Apparate bestehen in Frischfeuern mit Gebläsen, Schweißöfen, Hämmern. Taf. 7, Fig. 20 zeigt einen Frischherd.

a Frischherd, umgeben von eisernen Platten b, Frischzacken genannt, und dem Mauerwerk A. In den Herd durch die Brandmauer c hindurch ragt die Form f, in welcher die den Wind zuführende Düse liegt. Die Platte, auf welcher die Form ruht, heißt Formzacke, dieser gegenüber befindet sich die Gichtzacke. Die Hinterwand wird durch die Aschenzacke gebildet, in der vordern Platte, Schlackenzacke, liegt das Stichloch m. Unter dem zwischen den Formen zweier Feuer liegenden Gange G liegt ein Wasserkasten n, zur Kühlung des Herdbodens. Die den Herd umschließenden Zacken können ebenfalls durch Wasser gekühlt werden. In der Regel arbeiten zwei Feuer unter einer gemeinschaftlichen Esse e. Die vor dem Feuer herabhängenden Bleche i schützen den Arbeiter vor der Hitze.

Die Manipulationen bei der deutschen Frischmethode, welche die Darstellung von Feineisen und das Frischen verbindet, sind die folgenden: Nachdem der Herd von den Schlacken der vorigen Schmelzung gereinigt worden ist, füllt man ihn mit Holzkohlen — nur solche könne bei dem Herdfrischen verwendet werden — und legt die zu frischenden Roheisenbarren über die Gichtzacken auf die glühenden Kohlen unter fortwährender im Anfang schwacher Windzuführung. Das Roheisen schmilzt langsam nieder, und während dieses Einschmelzens wird sowol durch die Gebläseluft, als auch durch die sich neubildende, sowie durch die im Herde zurückgebliebene, sehr oxydirend wirkende Schlacke ein Theil des Kohlenstoffs und des Siliciums oxydirt. Ersterer wird verflüchtigt, letzteres von der Schlacke als Kieselerde aufgenommen. Das Roheisen sammelt sich auf dem Herdboden und erstarrt dort. Es erfolgt nun das sogenannte Rohaufbrechen. Nachdem die über dem Roheisen stehende Schlacke, ohne es ganz zu entblößen, abgelassen worden ist, bricht man mit Stangen den Roheisenklumpen auf, füllt den Herd mit frischen Kohlen und schmilzt zum zweiten male wieder.

Dabei beobachtet man, daß der beim ersten Schmelzen der Form ferner gelegene Theil des Roheisens beim zweiten Schmelzen an die Form zu liegen kommt und so mehr dem Winde ausgesetzt wird. Mit dem zweiten Schmelzen beginnt das eigentliche Frischen, bei dem das schmelzende, schon etwas entkohlte Roheisen ohne Zuschläge dem oxydirenden Einfluß des Windes ausgesetzt ist. Bei dem zweiten Schmelzen wird vorherrschend Silicium, sowie ein Theil des Eisens selbst oxydirt, mit welchem die aus dem Silicium entstehende Kieselsäure eine Schlacke, die Rohschlacke, bildet. Das Roheisen wird zugleich noch mehr entkohlt, wird strengflüssiger und läßt sich nicht mehr wie früher leicht umrühren. Ist das Eisen auf dem Herde wieder fest geworden, so wird es zum zweiten male aufgebrochen, Garaufbrechen, auf glühende Kohlen gelegt, mit frischen Kohlen bedeckt und zum dritten male bei möglichst hoher Hitze rasch niedergeschmolzen. Die letzten Reste von Silicium werden oxydirt und verschlacken sich mit dem gleichzeitig entstehenden Eisenoxydul zur Garschlacke. Beim dritten Schmelzen wird das vorher halbgare Eisen zum garen Eisen. Es sammelt sich, nachdem es seinen Kohlenstoff bis auf 0,2—0,5 Proc. verloren hat, als zähe Stabeisenmasse auf dem Boden des Herdes.

Während des dritten Niederschmelzens nimmt man an manchen Orten schon Stabeisen durch das sogenannte Anlaufenlassen weg. Dies geschieht dadurch, daß man eine Eisenstange in das niederschmelzende Eisen eintaucht, durch Drehen ein gewisse Quantität Eisen anwachsen läßt und dieses sofort ausschmiedet.

Die auf dem Herde des Frischfeuers liegende Eisenmasse, Luppe, Deul genannt, wird gleich nach Beendigung des Frischens herausgenommen und weiter verarbeitet. Die Bearbeitung der Luppe, gleich der, welche mit dem durch den englischen Frischproceß gewonnenen Stabeisen vorgenommen wird, soll dort erwähnt werden.

Man verarbeitet in einem Herde bei jeder Charge, die circa 4—5 Stunden dauert, $2^1/_2$ Centner Roheisen, und verbraucht bei einem Abgange von 24 Proc. Eisen, 0,6—0,8 Kubikmeter Holzkohlen.

Bei dem englischen Frischverfahren, Puddlingsproceß, Puddelproceß, unterwirft man das zu frischende, zu puddelnde Eisen denselben chemischen Processen, nur mit dem Unterschiede, daß hierbei Eisen und Brennmaterial getrennt aufeinander einwirken.

Das Puddeln geschieht mit Steinkohlen in Flammöfen, weil die dem Frischen schädlichen Bestandtheile der Steinkohlen eine unmittelbare Berührung zwischen Eisen und Brennmaterial nicht gestatten.

Die hierzu angewendeten Flammöfen sind den früher beschriebenen ganz ähnlich. Taf. 7, Fig. 12 zeigt den Querschnitt, Fig. 13 die perspectivische Ansicht eines Puddelofens. r und q Treppenrost, o Feuerbrücke, die meist hohl und durch Luftkanäle kühlbar ist. H Herdraum, o Fuchsbrücke, f Fuchs, s Esse, p Herdgewölbe. Sämmtliche Theile müssen aus gutem, feuerfestem Material construirt werden. In neuerer Zeit wendet man Gichtgase und Generatorgase als Brennmaterial an. Von den letztern soll bei den Gußstahlöfen die Rede sein.

Der Herd wird gebildet, indem man auf die Eisenplatten, die nach unten hin den Raum H schließen, Quarzsand in einer dicken Schicht aufträgt, dieser in der Mitte eine etwas muldenförmige Vertiefung gibt und das Ganze mit Puddelschlacke bestreut. Durch letztere bekommt der Herd, wenn er bei möglichst hoher Hitze eingebrannt wird, eine Glasur. Oder man schlägt den Herd ganz aus Puddelschlacke, muß dieselbe aber, bevor man die richtige Form geben kann, erst in stärkste Weißglut bringen.

Man richtet den Herd so ein, daß die beim Puddeln entstehende Schlacke über o nach f und durch t abfließen kann. Beim Feineisenpuddeln macht man den Herd ganz flach, während beim Roheisenpuddeln der Herd mehr muldenförmig gemacht wird.

Mit einem Puddelofen ist in der Regel ein zweiter Herd verbunden, auf dem die Roheisenbarren entweder vorgewärmt oder Luppen und Packete geschweißt werden.

Das Verfahren beim Puddeln ist folgendes: Die vorgewärmten Feineisenflossen werden mit dem Eisenschieber (Fig. 16) durch die Arbeitsthür in den schon sehr heißen Ofen gebracht und dort nach dem Erweichen mit der Krücke (Fig. 18) ausgebreitet. Man mischt nun garende Zuschläge, Garschlacke, von früherer Arbeit unter und rührt fortwährend mit dem Rühreisen (Fig. 15) so, daß das zu frischende Eisen ohne Unterbrechung dem oxydirenden Einfluß der Luft und der Zuschläge ausgesetzt wird. Silicium und Kohlenstoff werden oxydirt; ersteres wandert in die Schlacke, der Kohlenstoff in die Luft; auf dem immer steifer und breiiger werdenden Eisen zeigen sich blaue Flämmchen von brennendem Kohlenoxydgas. Die entstehende Schlacke fließt über die Fuchsbrücke ab.

Wenn das Eisen gar ist, beginnt das Luppen- oder Ballformen. Der Puddler drückt das auf dem Herde ausgebreitete Schmiedeeisen mit dem Haken, schweißt es zusammen, preßt dabei die Schlacke aus und formt es in große Stücke, Bälle oder Luppen genannt. Bei einem Einsatz von 600 Pfund Roheisen macht man in der Regel 6 Bälle, und zwischen Einsetzen und Luppenformen vergehen 70—80 Minuten. Nach der Reihenfolge, wie die Luppen von dem Puddler geformt wurden, werden sie mit der Zange (Fig. 19) [illegible] den Luppenwagen (Fig. 17) gebracht und [illegible] die eigentliche Bearbeitung und Verarbeitung des Schmiedeeisens. Auf Fig. 13 ist ein Puddler eben beschäftigt, eine Luppe aus dem Ofen zu nehmen und auf den Luppenwagen zu legen, der rechts neben ihm von einem Arbeiter gehalten wird.

Die Luppen werden nun gezängt, d. h. die zwischen den einzelnen Theilen liegende Schlacke wird ausgequetscht. Dies geschieht entweder unter Stirnhämmern (Fig. 21), oder Luppenquetschern (Fig. 22), oder unter Dampfhämmern (Fig. 25).

Bei Stirnhämmern (Fig. 21) wird die Luppe auf den Amboß E gelegt. Die Heblinge d der Welle C heben den Hammer A, der bei B sich dreht, und lassen ihn in schnellen Schlägen auf die Luppe fallen. In gleicher Weise geschieht dies bei dem Dampfhammer (Fig. 25). Hat man Luppenquetscher, so legt man die Luppe a auf den Tisch h, und der durch Dampfkraft bewegte Schenkel f des Quetschers drückt die in der Luppe befindliche Schlacke aus. Ist alle Schlacke ausgequetscht, so formt der betreffende Arbeiter aus der Luppe ein länglich viereckiges Stück und schmiedet dasselbe entweder gleich unter dem Hammer zu Stäben aus, oder es wird unter Walzen zu Rohschienen, Platinen, ausgewalzt. Selten macht man aus den Luppen direct ein fertiges Fabrikat; das Eisen ist noch zu roh und muß erst durch mehrfache Bearbeitung besser gemacht werden. Die aus der Luppe gefertigten Rohschienen werden unter der Schere in gleich lange Stücke zerschnitten.

Taf. 7, Fig. 26 gibt das Bild einer Schere. Die Rohschiene wird auf den festliegenden Schenkel s gelegt und der andere durch die Zugstange Z bewegliche Schenkel s schneidet von den Rohschienen beliebige Stücke ab. Aus den Rohschienenstücken werden Packete geformt, indem man je nach Bedürfniß und dem Fabrikate, welches man erzielen will, verschiedene Stücke zusammenpackt. Diese Packete erhalten vor dem Auswalzen im Schweißofen die nöthige Hitze. Fig. 23 zeigt den Querschnitt eines Schweißofens, der entweder durch Rostfeuerung oder durch Gicht- oder Generatorgase erhitzt wird. q Rost, o Feuerbrücke, p Herdgewölbe, t Fuchs, H der aus feuerfester Masse gestampfte Herd, der bei H nach der Esse zu abfällt, damit die beim Schweißen entstehende Schlacke durch r ablaufen kann. In einem solchen Ofen werden 18—20 Packete kreisförmig eingelegt, und nachdem sie durch häufiges Wenden die gehörige gleichmäßige Weißglut erhalten haben, in derselben Reihenfolge aus dem Ofen genommen, wie sie eingelegt wurden, und auf Wagen nach den Walzen gebracht (s. Fig. 13 auf Taf. 7 im Vordergrund und Fig. 1 auf Taf. 8 im Hintergrund). Die Packete werden entweder unter Hämmern durch Schläge, oder unter Walzen durch Recken zu Stäben, Schienen, je nachdem, geschweißt.

Man hat Walzen von den verschiedensten Kalibern zu den verschiedenen Formen, welche dem Walzeisen gegeben werden. Soll z. B. eine Eisenbahnschiene gewalzt werden, so wird das zur Schiene bestimmte Packet, nachdem es volle Schweißhitze erhalten hat, vor die Walzen (Taf. 8, Fig. 1), und zwar vor das stärkste Kaliber gefahren. Taf. 7, Fig. 24 zeigt ein Schienenwalzwerk. Auf dem Walzenpaare A wird vor-, auf dem Paare B wird gutgewalzt. Die ausgewalzte Schiene wird durch hölzerne Hämmer gut gerade geklopft und die zerrissenen Enden von Kreissägen abgeschnitten.

Ganz ähnlich verfährt man beim Walzen aller Façoneisen auf Walzen, deren Kaliber dem Querschnitt der Façon entspricht.

Man unterscheidet Quadrateisen mit quadrati-

schem, Flacheisen mit rechteckigem und Rundeisen mit rundem Querschnitt. Ganz dünne Sorten Flacheisen nennt man Bandeisen, dergleichen Sorten Quadrateisen Nageleisen. Ganz feine Stabeisensorten stellt man her dadurch, daß man Rohrschienen packetirt und auswalzt, die erhaltenen Schienen noch einmal schneidet, wieder packetirt, nach dem Erhitzen unter schweren Dampfhämmern schweißt und schließlich diesem Product durch Auswalzen die letzte Gestalt gibt.

Zu Blechen nimmt man sehr weiche und zähe Eisensorten, die nicht spröde werden und das Bearbeiten bei abnehmender Temperatur vertragen. Flacheisen, so wie es aus den Walzen kommt, wird zerschnitten, die einzelnen Stücke, Stürze genannt, wieder angewärmt und nachdem man den anhängenden Glühspan abgeschlagen, unter glatten Walzen gestreckt. Beim Walzen dünner Bleche walzt man 8—10 Stück auf einmal, wechselt deren Lagen nach jedesmaligem Durchgange und befreit sie gleichzeitig durch Klopfen von dem anhängenden Glühspan. Da diese Bleche kalt ausgewalzt werden, so müssen die Walzen einen hohen Druck überwinden, wenn sie die harten Bleche fassen, und deshalb schalenhart (s. Schalenguß) gegossen sein.

Eisendraht stellt man am besten aus sehr festem, zähem, im Bruche feinkörnigem Stabeisen her. Stabeisen, und zwar Rundeisenstücke, werden auf Schnellwalzwerken bis auf circa 4 Millimeter Stärke ausgewalzt, vom Walzwerk noch glühend auf einen Blechring gewickelt und mit diesem in einem geschlossenen Blechkasten langsam abgekühlt, in verdünnter Schwefelsäure gebeizt, in Kalkwasser gespült und dann auf den Haspel g des Drahtleierwerks (Taf. 8, Fig. 2) gebracht. Das eine Ende des Drahtes wird mit der Feile zugespitzt, durch das weiteste Loch des im Ständer e befindlichen Zieheisens F gesteckt und an einem Haken der Leier, Bobine d, befestigt. Diese, durch das gangbare Zeug cab langsam in Bewegung gesetzt, wickelt den Draht auf. Der Drahtring auf d wird, sobald er durchgezogen, abgehoben, nach g zurückgebracht und durch das nächst feinere Loch gezogen, und so fort, bis zur erforderlichen Feine. Beim Ziehen legt man einen Klumpen Talg zum Fetten des Drahtes an das Zieheisen, dessen Löcher bisweilen mit harten Edelsteinen ausgekleidet sind. Der durch das Ziehen hart gewordene Draht wird ausgeglüht und vom Glühspan entweder chemisch durch Beizen oder mechanisch durch Scheuern auf sogenannten Polterbanken befreit.

Fabrikation des Stahls. In Bezug auf seinen Gehalt an Kohlenstoff, der zwischen 0,6—2,0 Proc. schwankt und in Bezug auf seine übrigen Eigenschaften liegt der Stahl zwischen Roheisen und Schmiedeeisen; mit dem letztern hat er die Dehn- und Schweißbarkeit, mit dem erstern die Schmelzbarkeit gemein. Die Farbe ist grauweiß bei mattem Glanze, der Bruch körnig, bei feinen Stahlsorten außerordentlich dicht.

Rasches Abkühlen macht glühenden Stahl hart und spröde, während gehärteter Stahl, erhitzt und langsam abgekühlt, wieder weich wird. Beide Eigenschaften lassen sich leicht benutzen, einem Stahle die richtige Härte zu geben, und man verfährt am besten beim Härten des Stahls, wenn man durch starkes Erhitzen und schnelles Kühlen einen härtern Stahl als nöthig macht und dann durch Anwärmen und langsames Kühlen den Härtegrad bis zu dem gewünschten herabstimmt.

Das sogenannte Anlassen des Stahls dient zur Bestimmung der richtigen Temperatur beim Härten und beruht auf der Eigenthümlichkeit des Stahls, beim Erwärmen in bestimmten Temperaturen bestimmte Farbenerscheinungen zu zeigen. Diese Anlauffarben des Stahls sind folgende:

bei	220	Grad	blaßgelb,
»	230	»	strohgelb,
»	255	»	braun,
»	265	»	purpurfleckig,
»	277	»	purpur,
»	288	»	hellblau,
»	293	»	dunkelblau,
»	316	»	schwarzblau.

Sehr harte Stähle wird man deshalb nur gelb, mehr zähe als harte aber hellblau u. s. w. anlaufen lassen.

Man hat zwei verschiedene Methoden der Stahlfabrikation, und zwar erstens Darstellung von Rohstahl aus Roheisen durch Entkohlung desselben in Herden, Puddelöfen und Bessemerapparaten, und zweitens: Darstellung von Stahl durch Kohlung von Schmiedeeisen, Cementstahl.

Der Roh-, Frischstahl, auch natürlicher Stahl, Schmelzstahl genannt, wird in Herden, ähnlich dem Stabeisen, aus reinem weißen Roheisen, namentlich Spiegeleisen gewonnen, das aus namentlich manganhaltigen Eisensteinen fast nur mit Holzkohlen, seltener mit Coak erblasen wird.

Der Frischproceß, wie er bei der Stabeisenfabrikation beschrieben, wird unterbrochen, wenn das Frischproduct noch so viel Kohlenstoff enthält, als zur Stahlbildung nöthig ist, und man sorgt dafür, daß die Entkohlung weniger während des Herabschmelzens des Roheisens, als vielmehr, wenn es bereits auf dem Boden des Herdes liegt und überhaupt weniger auf Kosten der Gebläseluft, als auf Kosten garender Zuschläge erfolgt. Ist der Stahl gut gerathen, so hebt man ihn noch glühend aus dem Herd, zerbricht die Stahlluppe, heizt die einzelnen Stücke bei demselben Frischfeuer an, reckt sie unter Hämmern oder Walzen zu Stäben aus, die man noch glühend in Wasser wirft und so härtet. Die Stangen werden zerbrochen, die einzelnen Stücke nach dem Bruche sortirt und entweder direct in den Handel gebracht oder gepackt und nach dem gehörigen Erhitzen nochmals unter Hämmern oder Walzen geschweißt. Letztere Manipulation nennt man das Gerben des Rohstahls, und den erhaltenen Stahl Gerbstahl.

Die Stahlfrischarbeit, die nur in holzkohlenreichen Gegenden und wo gute Roheisensorten zu Gebote stehen betrieben wird, wie z. B. in Steiermark, Kärnten, Thüringen, Siegen u. s. w., erfordert große Uebung und Aufmerksamkeit, liefert aber auch sehr gute und feine Stahlsorten. Je feiner ein Stahl werden soll, desto öfter wird er gegerbt. Schmelzstahl und daraus erzeugter Gerbstahl sind zwar viel theuerer als der durch Puddeln erzeugte Stahl, aber für manche Zwecke, wie für Instrumente, feine Messer u. s. w., ganz unersetzlich.

Es war ein großer Fortschritt in der Stahlindustrie, als es gelang, in Puddelöfen Stahl zu erpuddeln und so billig und in größern Massen herzustellen, daß der Puddelstahl in vielen Fällen das Stabeisen verdrängt hat.

Der Stahlpuddelproceß geht unter ähnlichen Umständen vor sich, wie das Stabeisenpuddeln. Man wählt nur sehr kohlenstoffreiche manganhaltige Roheisen, welche nur langsam ihren Kohlenstoff verlieren, und puddelt unter stärkster Hitze, sodaß das Roheisen ganz flüssig wird, was eine langsame Entkohlung begünstigt.

Die Stahlluppen werden bei möglichstem Luftabschluß geformt, um, wenn einmal die Stahlbildung eingetreten ist, keinen Kohlenstoff mehr zu verlieren. Wenn eine Luppe geformt ist, wird sie sofort aus dem Ofen genommen und unter einem Dampfhammer gezängt, währenddem formt der Puddler die zweite Luppe und so fort, bis sämmtlicher Puddelstahl aus dem Ofen ist. Aus einem Einsatz von 350 Pfund Roheisen werden 7—8 40 Pfund schwere Luppen gemacht. Nach dem Zängen werden die Luppen, damit sie rothglühend bleiben, in Kohlenlösche verpackt, ein Theil davon bekommt sofort Schweißhitze und wird dann unter einem Dampfhammer zu Stäben ausgeschmiedet.

Diese werden noch rothwarm ins Wasser geworfen und gehärtet. Solche Stäbe, die sofort unter dem Hammer zerspringen, geben die erste Stahlsorte, solche, die ganz bleiben, die zweite Sorte; durch Gerben, d. h. also Sortiren, Schweißen und Aushämmern, oder Auswalzen wird auch der Puddelstahl in den bessern Gerbstahl umgewandelt. Der Puddelstahl liefert das Hauptmaterial für die Gußstahlfabrikation.

Unter allen Stahlerzeugungsmethoden hat keine eine so enorme Anwendung erfahren, als die des Engländers Henry Bessemer. Dieselbe beruht auf der sehr einfachen Thatsache, daß ein Strom von Luft, durch flüssiges Roheisen geleitet, ohne irgendwelches Brennmaterial dabei anzuwenden, das Roheisen entkohlt, wobei theils durch Verbrennen von Kohlenstoff, theils durch das Verbrennen von Eisen eine so enorme Hitze erzeugt wird, daß das gefrischte Product vollständig in Fluß bleibt und gegossen werden kann.

Nicht alle Roheisensorten eignen sich für die nach ihrem Erfinder benannte Bessemermethode. Hauptsächlich sind es phosphor- und schwefelfreie Roheisen, die ein gutes Product geben. Geringere Sorten liefern ein entsprechend ungleiches und weniger verwendbares Metall. Gute reine Holzkohleneisen, nach Bessemer's Methode gefrischt, geben einen härtungsfähigen Stahl, der zu Werkzeugen verwendet werden kann. Coakroheisen aber liefern keinen eigentlichen Stahl, sondern nur ein kohlenstoffreiches, also hartes und außerordentlich festes Stabeisen, ein ganz vorzügliches Material für Eisenbahnschienen, Dampfkesselbleche, Radbandagen, Kanonen u. s. w.

Man unterscheidet die schwedische und englische Bessemermethode, erstere, in feststehenden Oefen ausgeführt, wird immer mehr und mehr durch die letztere verdrängt.

Bei der schwedischen Methode wird ein Quantum von 30—40 Centnern Roheisen aus dem Hohofen in eine große Pfanne gestochen und diese in einen sehr gut vorgeheizten Ofen entleert, in den unten am Boden durch eine Menge von Düsen ein stark gepreßter Luftstrom eingeführt wird.

Der Verlauf der Schmelzung ist derselbe, wie bei der englischen Methode, zu deren Ausführung folgende Apparate gehören (Taf. 8, Fig. 3—6): A in Fig. 3 ist der aus starkem Eisenblech gefertigte Ofen, Retorte, Converter, Birne genannt. Der Ofen besteht aus zwei Theilen, die bei a aufeinandergeschraubt sind und von denen der obere Theil, der Hut, abgenommen werden kann. b ist ein sehr starkes, aus bestem feuerfesten Material eingeschlagenes Futter. Der ganze Ofen ruht auf zwei an den Ring m angegossenen Achsen und ist um diese drehbar. Zu dem Zweck des Drehens ist auf der einen Seite die eine Achse bei l mit einer kleinen Welle k verkuppelt, auf welcher das Zahnrad i sitzt. Dieses Zahnrad greift in eine Zahnstange, die zugleich Kolbenstange für einen durch eine hydraulische Presse oder Dampfmaschine bewegten Kolben ist. Durch Fig. 4 wird dies deutlicher. A, die Retorte, ist mit dem Zahnrad B verkuppelt. B greift in die Zahnstange C, welche an einem Kolben befestigt ist, der in dem Cylinder D durch hydraulischen oder Dampfdruck bewegt wird.

Die andere Achse ist hohl, sie ist bei g mit dem Windständer n in Verbindung, welcher durch eine Röhrenleitung mit einer starken Gebläsemaschine in Zusammenhang steht. Auf der hohlen Achse sitzt ein Excentrik, welches beim Drehen der Retorte durch den Hebel h das Ventil v in Bewegung setzt und mit ihm den Windzugang versperrt oder öffnet. Die Retorte A ist unten offen, in diese Oeffnung wird das Formstück t t, in welches 42 13 Millimeter weite Düsen aus dem feuerfestesten Material eingeformt sind, eingesetzt. Das Formstück sitzt auf dem hohlen Windkasten B, in dessen oberm Boden 42 den Düsen entsprechende Oeffnungen sind. Der Windkasten steht mit der Windführung g, und diese wieder mit der hohlen Achse in Verbindung, von welcher sie mit der Retorte gedreht wird.

Der Verlauf einer Schmelzung (Charge) ist nun folgender: Je nach der Größe der Retorten werden in einem Cupolofen (Fig. 7 im Hintergrund) 60 80 oder 100 Centner möglichst phosphor- und schwefelfreies Roheisen eingeschmolzen. Ist das Roheisen niedergeschmolzen, so wird die sehr gut vorgewärmte Retorte gekippt (Fig. 7, Retorte links). Mit dem Cupolofen wird jetzt eine im Kreise gebogene bewegliche Rinne (Fig. 7, in der Mitte) in Verbindung gesetzt, deren eines Ende unter das Stichloch des Cupolofens und deren anderes Ende in das Mundloch der Retorte ragt. Das Eisen wird abgestochen und läuft durch die Rinne in den Converter, in dessen Bauche es sich ansammelt. Die Retorte ist so groß, daß die 60, 80 oder 100 Centner ungefähr nur den sechsten Theil des innern Raums einnehmen. Die Retorte wird umgehoben. Während sie horizontal liegt, ist das Gebläse abgeschlossen. Excentrik, Hebel h und Ventil v sind nun so construirt, daß der Wind vollen und freien Zugang in die Retorte hat, wenn beim Heben derselben das erste Roheisen an die ersten Formen tritt. In senkrechter Stellung ist alles Roheisen über den Formen, und nur durch das Einströmen einer sehr großen und stark gepreßten Windmenge wird das Einlaufen des flüssigen Roheisens in die Formen oder Düsen verhindert.

Unter gewaltigem Aufbrausen, Kochen und Auswerfen von glühenden Eisentropfen strömen bei einer Füllung von circa 100 Centner 5000 Kubikfuß stark gepreßter Wind pro Minute in die Retorte. Kohlenstoff und Silicium werden oxydirt, das bis auf 0,5—0,8 Proc. Kohlenstoff entkohlte Metall bleibt infolge einer enormen Wärmeentwickelung vollständig in Fluß, und nach einem Zeitraum von 20—25 Minuten ist der ganze Proceß beendet und 80—100 Centner Roheisen in Bessemerstahl oder Bessemereisen verwandelt. Die im Anfang der Charge blendend weiße Flamme wird zuletzt durch braune dicke Dämpfe verdunkelt. Das Mundloch der Retorte ragt, überdeckt von einem Mantel, in eine die Gase abführende Esse (Fig. 7, rechts).

Die Flamme wird während der Charge durch das Spectroskop beobachtet. Das Verschwinden gewisser Linien im Spectrum, namentlich der Manganlinien, gibt das Zeichen, daß der Proceß beendet ist. Die Retorte wird wieder gekippt. Ein Arbeiter tritt vor das Mundloch derselben und nimmt eine Granalienprobe, d. h. er fährt mit einem kalten langen Eisenstabe in das flüssige Metallbad, das überdeckt von Schlacke im Bauche des Ofens ruht. An dem kalten

Stabe setzt sich Schlacke, die kleine Metallkügelchen einhüllt, an. Zeigen sich diese Körnchen unter dem Hammer ductil, so ist die Charge gelungen; erhalten die Körner aber beim Ausplatten Kantenrisse, so muß noch ein paar Secunden geblasen werden, bis das Metall gut ist. Angenommen, die Charge sei gelungen, so wird zum Ausgießen geschritten. In der Mitte der in der Hütte befindlichen Gießgrube (Fig. 7) ist ein hydraulischer Kran, an dessen einem Arme die Gießpfanne befestigt ist (Fig. 4, 5 u. 7). Es ist dies eine große 100—120 Centner fassende, mit feuerfestem Thon ausgeschlagene Pfanne E, die durch den Kran F gehoben und in horizontaler Ebene bewegt, sowie durch g und Welle G für sich gedreht werden kann.

Im Boden der Pfanne A (Fig. 5) ist eine Ausflußöffnung e, verschließbar durch den mit feuerfestem Thone überzogenen Stopfen b, der durch das Hebelwerk cc auf- und niederzulassen ist. Die vorher glühend gemachte Pfanne wird, wie in Fig. 4, unter den Converter gebracht, letzterer noch tiefer gekippt, und Schlacke und Metall fließen in die Pfanne, wo sie sich nach ihrem specifischen Gewichte sondern.

Am äußern Rande der Gießgrube stehen die Formen, in welche der Stahl gegossen wird. Fig. 6 zeigt den Querschnitt einer solchen, der Fassungsraum ist für die Aufnahme von 10—11 Centnern eingerichtet.

Die Gießpfanne wird über die erste Form gehoben und der Stöpsel b geöffnet. Der Stahl fließt unten aus in die Form, und sobald diese gefüllt ist, bewegt sich die Pfanne weiter, füllt die nächste Form und so fort, bis die Pfanne geleert ist und nur noch Schlacke enthält.

Jede Form wird sofort nach dem Füllen durch aufgestreuten Sand und eine durch Keile festgetriebene Platte geschlossen, um ein Blasigwerden des Stahls zu verhindern. Wenn der Ausguß vollendet ist, werden Converter und Pfanne umgestürzt, gereinigt und für eine neue Charge vorbereitet.

Die Stahlblöcke werden, wenn sie fest geworden sind, aus den Formen genommen, und nachdem sie in einem Glühofen gleichmäßige Hellrothglut erhalten haben, unter 300—400 Centner schweren Dampfhämmern verdichtet und zu viereckigen Prismen geschmiedet. Ist dies geschehen, so kommen sie in ein Schweißfeuer und werden unter Walzen und Hämmern weiter verarbeitet.

Durch die Bessemermethode ist es möglich geworden, kolossale Mengen billiges stahliges Stabeisen herzustellen, das bei weitem dauerhafter als gewöhnliches Schmiedeeisen ist.

In neuerer Zeit sind noch verschiedene andere Methoden zur Rohstahlbereitung aufgetaucht, von denen die wichtigsten die von Heaton und Martin sind. Das sogenannte Salpeterfrischen von Heaton bezweckt eine Stahlbildung durch Behandeln von geschmolzenem Roheisen mit Salpeter. Nach Martin wird jetzt das von Uchatius angegebene Verfahren, Stahl durch Schmelzen von Roheisengranalien mit Spateisensteinpulver herzustellen, in größerm Maßstabe in Gasflammenöfen ausgeführt.

Die zweite Hauptmethode der Stahlfabrikation liefert durch Kohlung von Schmiedeeisen den **Cementstahl**. Derselbe wird in Oefen von folgender Construction vorgenommen (Taf. 8, Fig. 8): Zwei große thönerne Kisten B stehen in dem durch das Kuppelgewölbe C überdeckten Ofenraume, in dessen Mitte unten in der Sohle der Feuerraum A liegt. Die Kisten stehen auf Ziegeln, sodaß die aus A kommende Flamme die Kistenwände vollständig bestreichen kann, und fassen beide zusammen ungefähr 350 Centner Eisen, welches mit nußgroßen Brocken von harter Holzkohle in die Kisten eingebettet wird. Nach dem Füllen werden dieselben luftdicht verschlossen und der Ofen 6—8 Tage lang, je nachdem man einen mehr oder minder harten Stahl haben will, in heller Rothglut erhalten. Während dieser Zeit verwandelt sich das Stabeisen durch Aufnahme von Kohlenstoff in Stahl. Man läßt den Ofen Zeit zu langsamer Abkühlung und leert dann die Kisten. Die Stahlstückchen zeigen eine blasige Oberfläche (**Blasenstahl**) und sind zu ungleichartig, um direct verwendet zu werden.

Der Cementrohstahl muß gegerbt werden, und dies geschieht auf die bekannte Weise, indem man die einzelnen Stücke rothglühend macht, zu Stäben aushämmert, härtet und dann in Packeten unter Walzen ausreckt.

Der **Gußstahl**, dessen Darstellung namentlich durch Krupp in Essen einen ganz bedeutenden Aufschwung genommen hat, wird erzeugt durch Zusammenschmelzen von Roh- oder Gerbstahl, sowol von Puddel- als auch Cementstahl, und zwar schmilzt man in feuerfesten Tiegeln und Oefen ohne Gebläse. Gegossen wird der Stahl in gußeisernen Formen. Man kann alle Sorten von Stahl verschmelzen; die Hauptschwierigkeit dabei ist nur die richtige Auswahl und Zusammensetzung des einzuschmelzenden Materials.

Die Tiegel, in welchen geschmolzen wird, werden aus feuerfestem Thon, dem man Holzkohlenpulver oder Graphit beimengt, hergestellt. Sie bilden einen sehr wichtigen Theil des Schmelzapparates; da von ihrer Haltbarkeit das gute Ausbringen abhängt. Man macht sie von verschiedener Größe, sodaß der Fassungsraum zwischen 20 und 60 Pfund Gußstahl schwankt. Während der Schmelzung sind sie mit einem Deckel verschlossen, der aus demselben Material wie der Tiegel gefertigt ist.

Die Oefen, in denen die Schmelzung vorgenommen wird, sind Gefäßöfen. Taf. 8, Fig. 11 zeigt zwei zusammengekuppelte Windöfen, die gemeinschaftlichen Aschenfall A und Luftzuführungskanal Bc haben. In dem durch die Platte d abgedeckten Ofen stehen 2 oder 4 Tiegel; gefeuert wird mit Coak, der während des Schmelzens die Tiegel umgibt. Die fortgehende Wärme wird zur Erhitzung des Dampfkessels E benutzt.

In neuerer Zeit wird der Gußstahl auf größern Werken in Siemens'schen Regeneratoröfen geschmolzen. Die zum Schmelzen nöthige Hitze wird durch Gas erzeugt, das in Generatoren aus Braunkohlen, Torf, klaren Steinkohlen, entwickelt wird. Fig. 9 und 10 zeigen die Einrichtung eines solchen Ofens, der nach seinem Erfinder Siemens-Ofen genannt wird.

A Gasgenerator, auf dessen Rost aa das durch den Füllcylinder a eingebrachte Brennmaterial verbrennt. Die entstehende Kohlensäure verwandelt sich, indem sie durch glühende Kohlen streicht, in Kohlenoxydgas, und dieses wird durch den mit dem Register c versehenen Kanal b abgeleitet. Bei der dermaligen Stellung der Klappe d treten die brennenden Gase, durch einen Schornstein angesogen, in den Raum, welcher mit dem Regenerator f in Verbindung steht. Durch die in demselben befindlichen glühenden Steine erhitzt, kommen die Gase über die Feuerbrücke g in den 2 Meter langen, 0,6 Meter breiten und 0,4 Meter hohen Schmelzraum T, in welchem 12 Tiegel stehen. Das Gewölbe u kann abgehoben und durch die Oeffnung Tiegel eingesetzt und herausgenommen werden. Damit die über g eintretenden Gase verbrennen, muß Luft zugeführt werden. Diese tritt durch ein Gitter in den Raum R, gelangt durch den mit dem Register q versehenen Kanal bei der dermaligen Stellung von Klappe

n nach p, von da in den glühenden Regenerator l und zuletzt über die Feuerbrücke R zu den von g kommenden Gasen. Die gebildete Flamme durchströmt T der Länge nach und theilt sich an dessen Ende in zwei Theile; der eine Theil geht über h durch Regenerator e, dessen Steine davon glühend gemacht werden, und entweicht dann in den Hauptkanal W, der zu dem Schornstein führt. Der andere Theil der Flamme geht über i durch m und o ebenfalls durch W in den Schornstein.

Sobald die Regeneratoren f und l abgekühlt, die beiden andern e und m aber gehörig erhitzt sind, stellt man die Ventile n und d um, Gas und Luft nehmen den umgekehrten Weg durch die erhitzten Regeneratoren und erwärmen bei dem Abgehen die ausgekühlten. Auf diese Weise werden die Regeneratoren immer abwechselnd erhitzt, und man erspart durch diese Einrichtung bedeutend an Brennmaterial.

Soll nun Gußstahl fabricirt werden, so muß man zunächst die für den Guß bestimmten Stahlstücke in 1—2 Kubikcentimeter große Stücke zerschroten. Die gut vorgewärmten Tiegel mit den Stahlstückchen gefüllt kommen in den bereits glühenden Ofen, und werden die letztern dort zusammengeschmolzen. Zu sehr kohlenarmen Stählen setzt man etwas Holzkohle, besonders harte Stähle beschickt man mit 2—3 Proc. Wolfram, mit Braunstein solche, die vorzüglich zähe werden sollen.

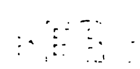
Der Gußstahl wird in eiserne Formen gegossen. Sehr große Gußstücke werden dadurch hergestellt, daß man aus mehrern Oefen sämmtliche Tiegel zugleich in eine Form ausleert. Krupp in Essen hat auf diese Weise Blöcke bis zu 1000 Centner Schwere gegossen.

Vorzüglichen Gußstahl, der sich zu den feinsten Instrumenten eignet, stellt man aus bestem Cementstahl her; der aus Puddelstahl erschmolzene Gußstahl wird hauptsächlich zu Achsen, Federn, Walzen, Flinten- und Geschützröhren verwendet.

Schließlich sei hier noch in Kürze des echten orientalischen Damaststahls, Wootz genannt, gedacht. Derselbe wird aus Stabeisen gefertigt, welches aus sehr reinem Magneteisenstein in kleinen Schachtöfen mit Holzkohle erblasen wird. Das erhaltene Stabeisen wird mehrmals geschweißt und ausgereckt, endlich in kleine Stücke geschnitten und diese, in Tiegel mit trockenen Holzspänen und einigen grünen Blättern gepackt, mehrere Stunden lang einer sehr heftigen Hitze ausgesetzt.

Das Eisen nimmt dabei große Mengen, oft bis zu 18 Proc., Kohlenstoff auf, ist selbstverständlich nicht mehr schmiedbar und wird deshalb vor der Bearbeitung längere Zeit in Gebläseöfen geglüht. Nach diesem Glühen schmiedet man den Stahl zu den hochgeschätzten indischen und persischen Klingen aus.





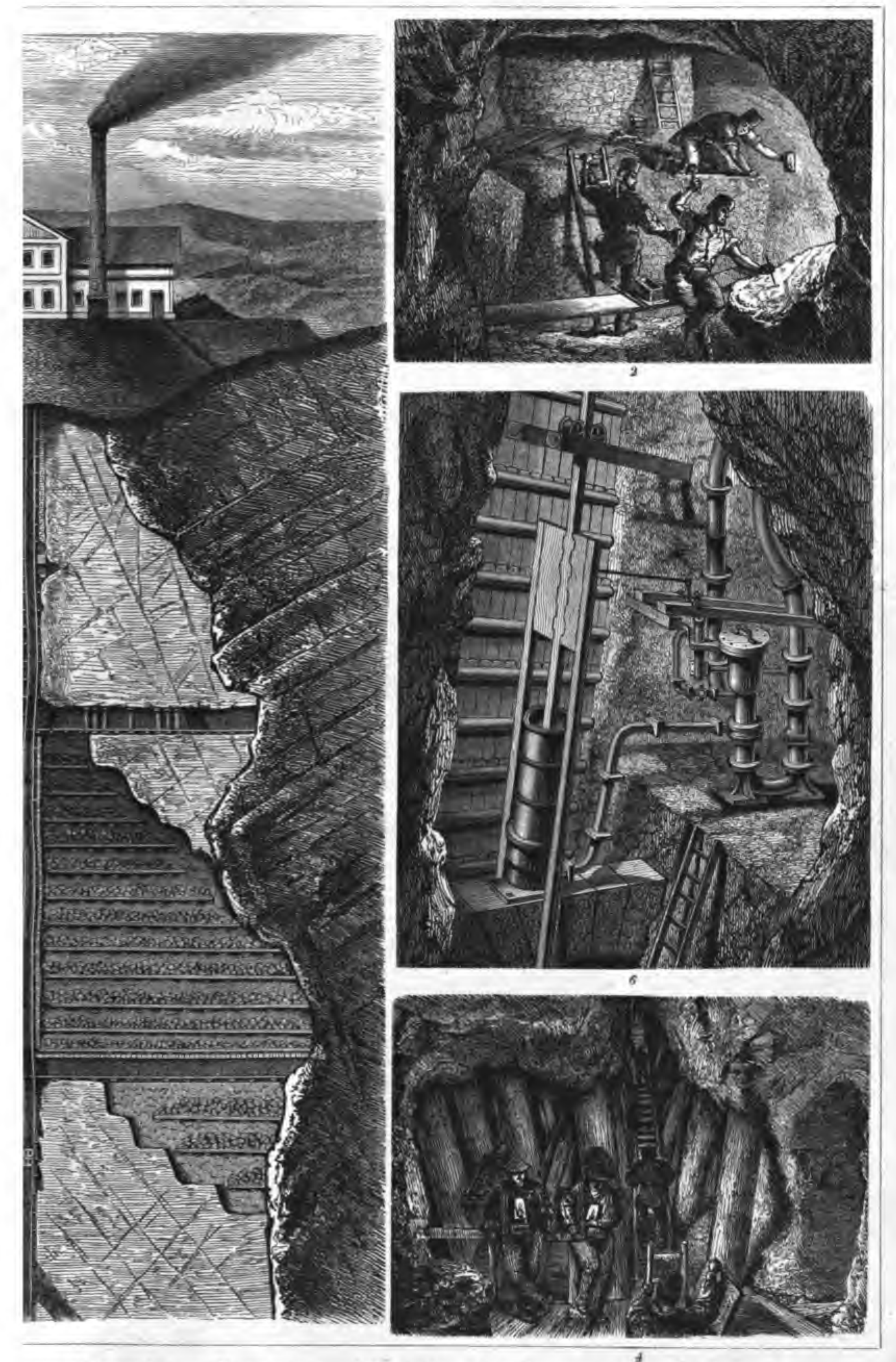
1

2

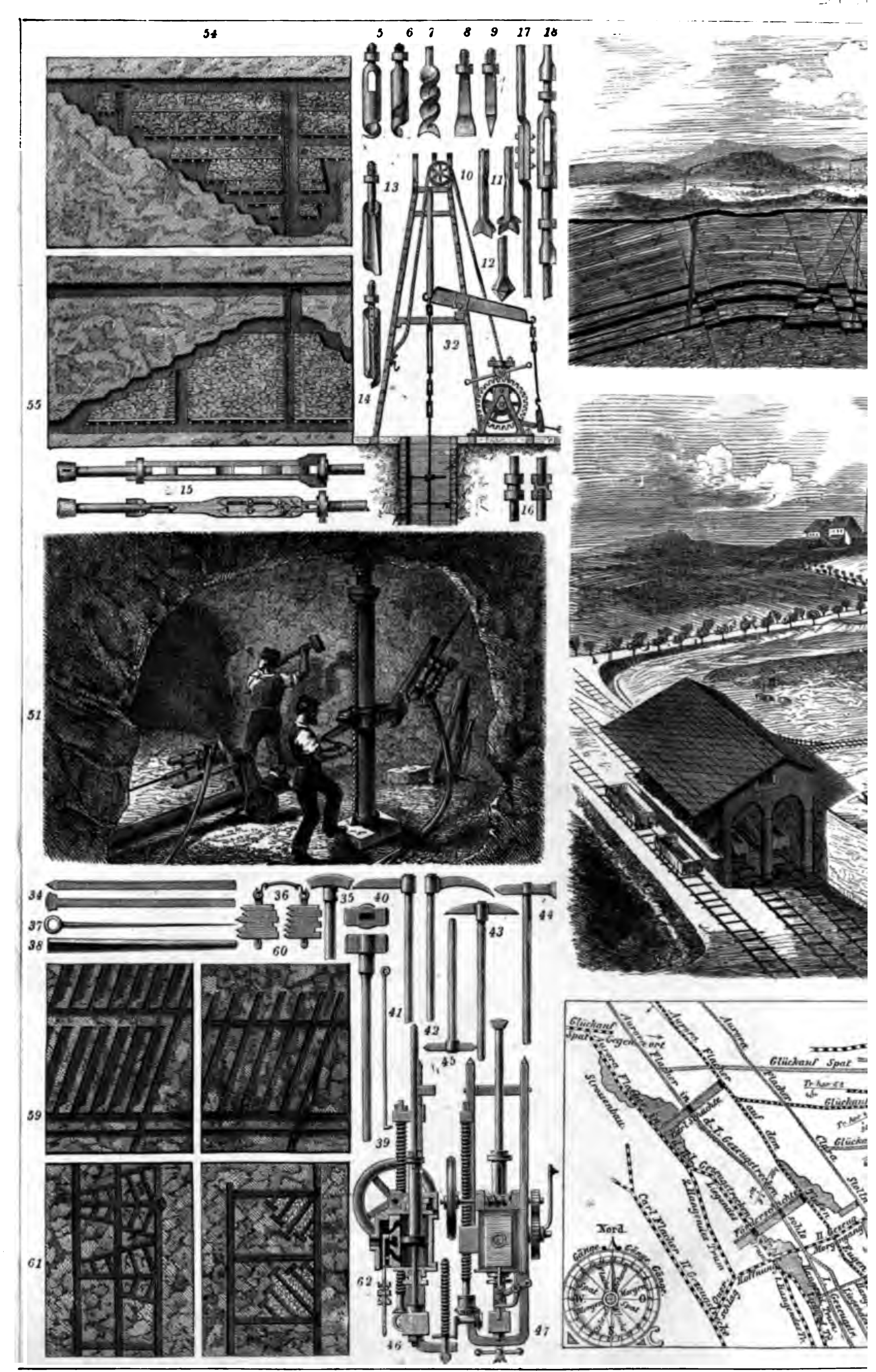
3

1 Arbeiter vor Ort. 2 Förstenbau. 3 Füllort. 4 Einfahrt. 5 Arbeiter im Stassfurter Steinsalzbergw

Druck und Verlag von

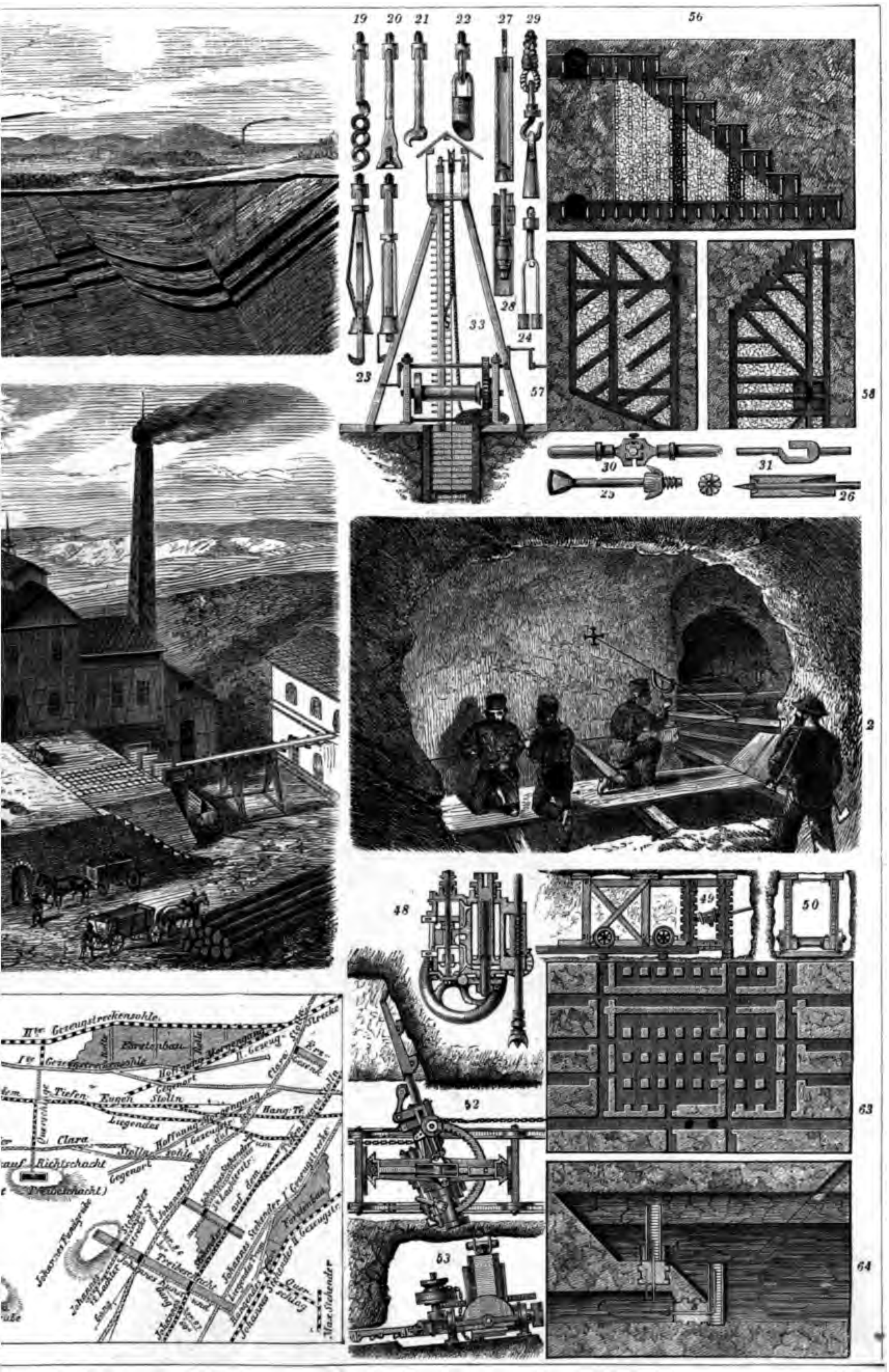


...assersäulenmaschine zur Wasserhaltung. 7 Idealer Querschnitt über einen Theil eines Erzbergwerks.

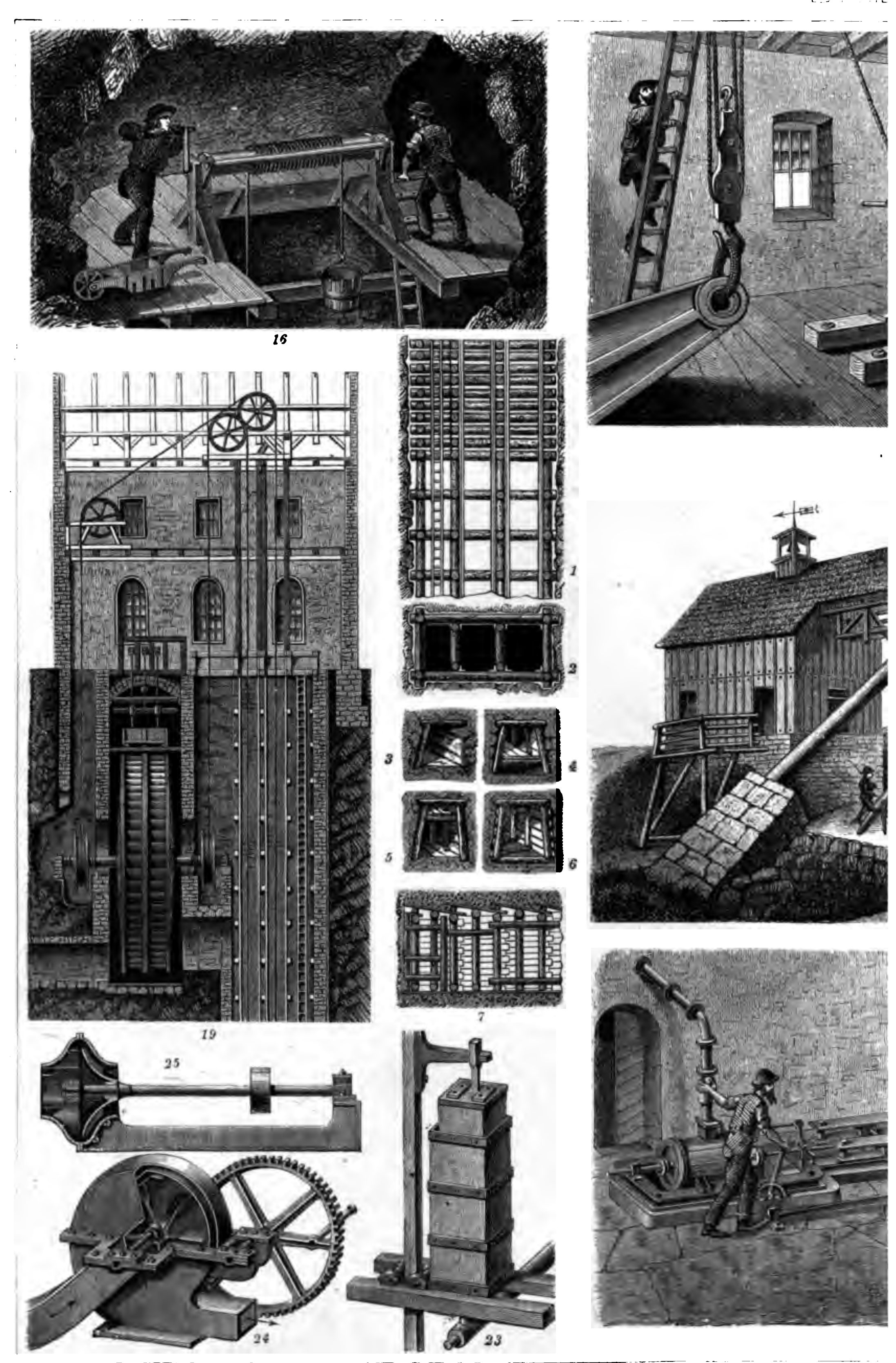


1 Theil eines Erzbergwerks (Grundriss). 2 Markscheiderzug. 3 Darstellung einer Kohlenablagerung. 4 Kohl
46-48 Gesteinsbohrmaschinen. 49 u. 50 Apparat zum Befestigen der Bohrmaschinen. 51 Bohren mit

Druck und V

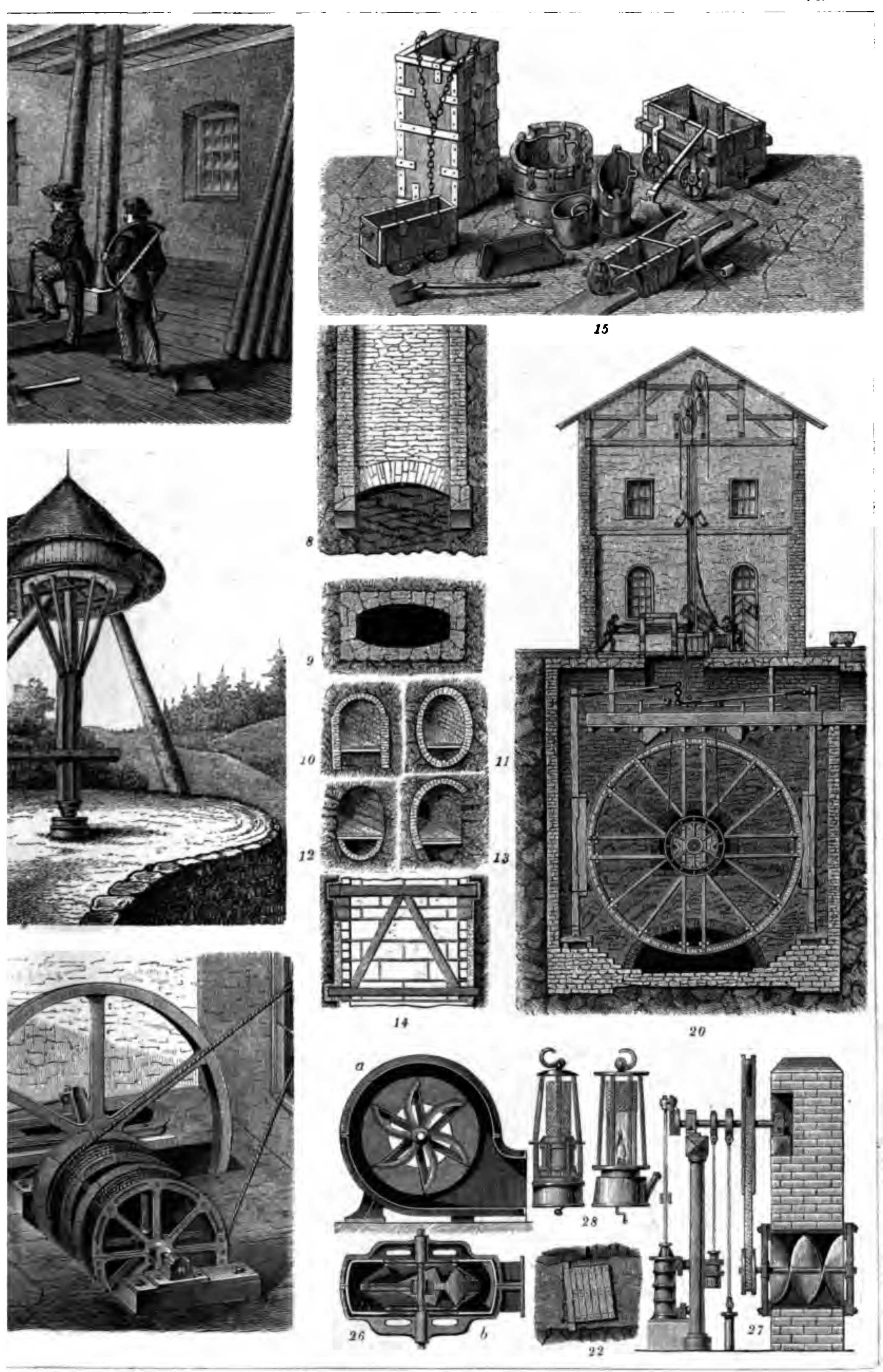


. 5-31 Bohrstücke und Hülfsapparate beim Erdbohren. 32 u. 33 Bohrgerüste. 34-45 Verschiedenes Häuergezähe
u. 53 Hydraulische Schrämmaschine. 54-63 Darstellung verschiedener Abbau-Methoden. 64 Sinkwerk.



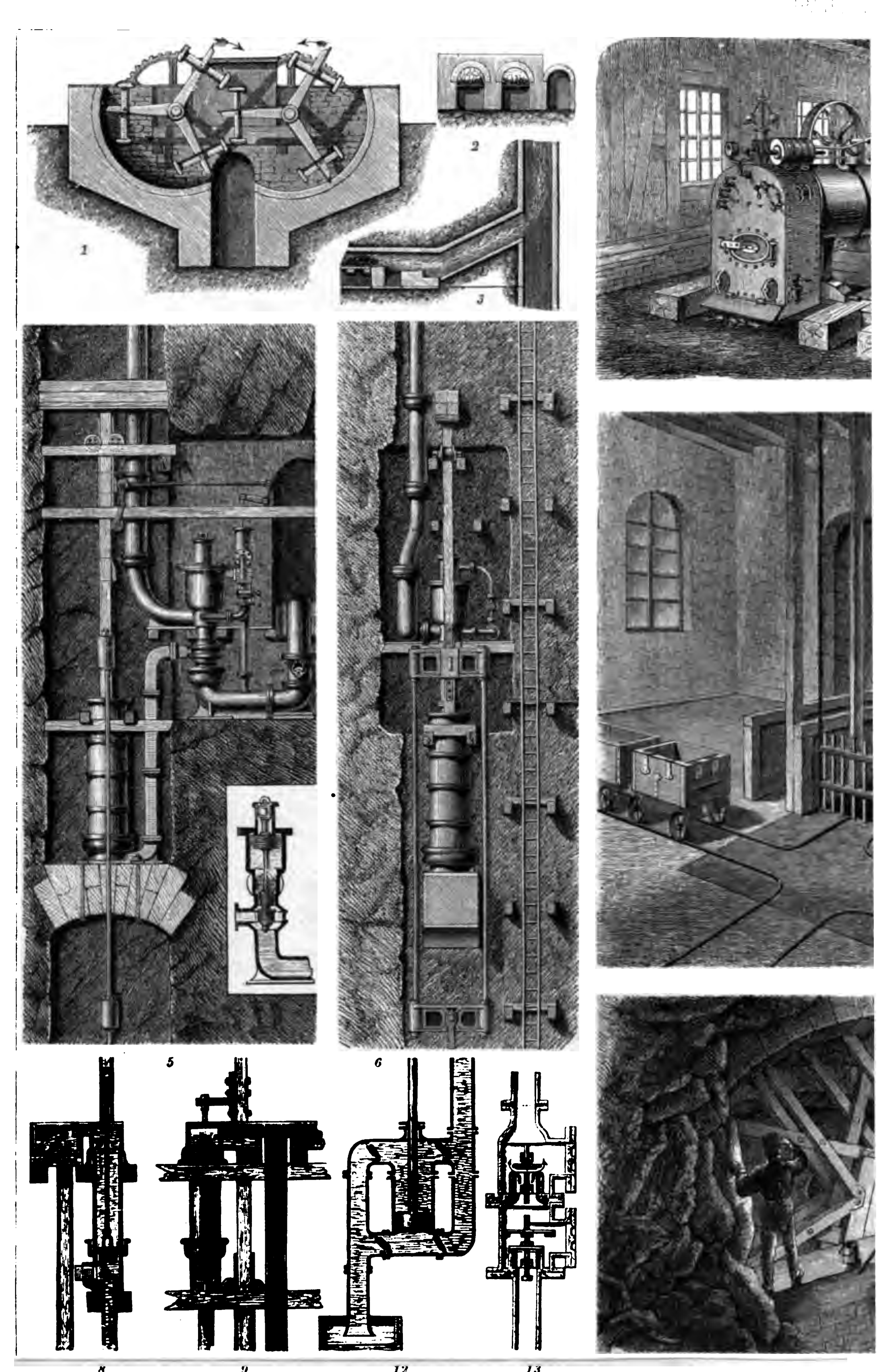
1 u. 2 Schachtzimmerung. 3-6 Streckenzimmerungen. 7 Streckengetriebe. 8 u. 9 Schachtmauer in Bruchsteinen.
18 Pferdegöpel. 19 u. 20 Oberschlägiger Radgöpel. 21 Dampfgöpel. 22 Wette

Druck und Ve

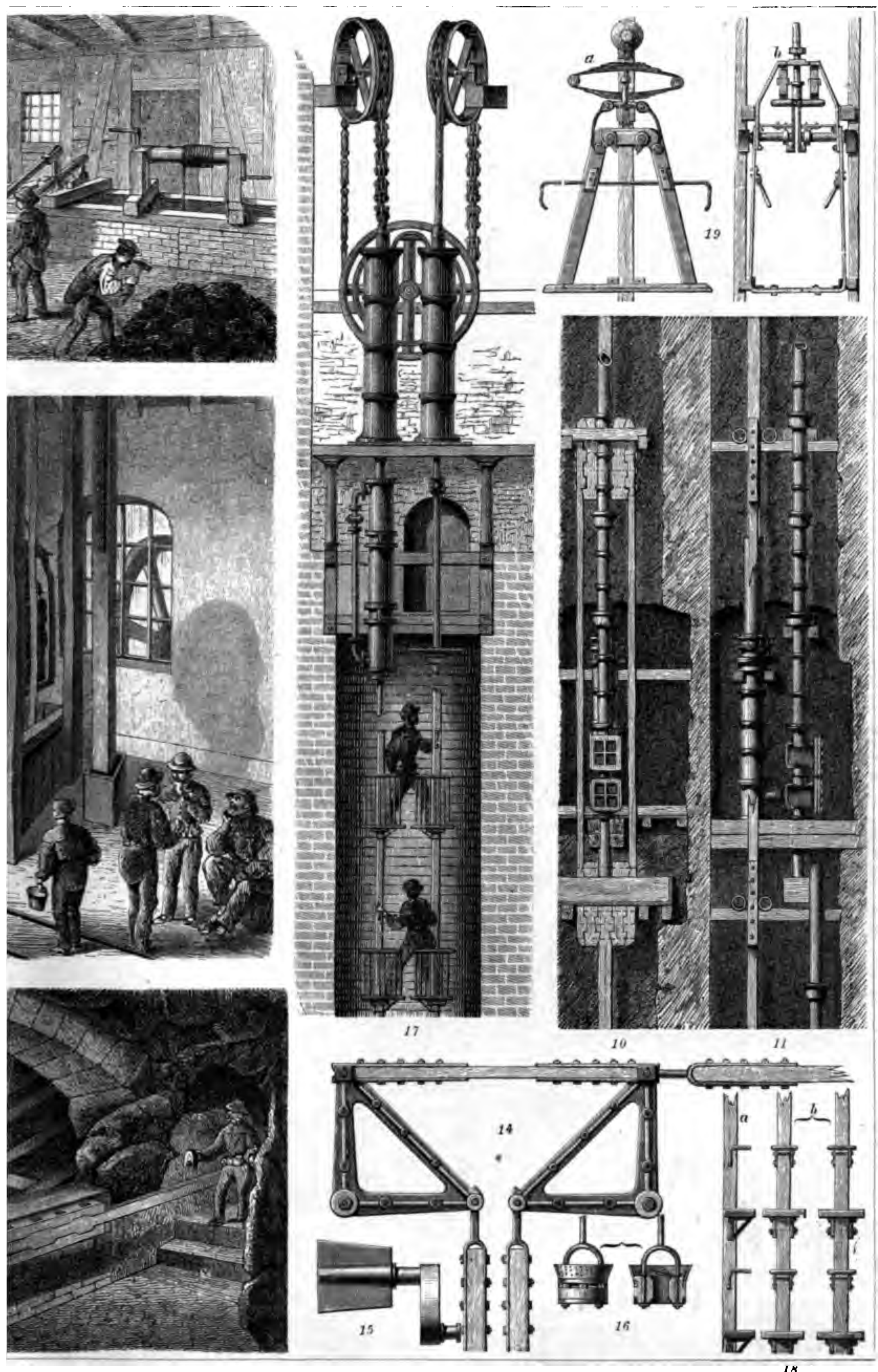


mauerungen. [14] *Runder Schacht in Eisen.* [15] *Fördergefässe.* [16] *Gemeiner Berghaspel.* [17] *Vorgeleghaspel.*
er Wettersatz. [24] *Handventilator.* [25-27] *Ventilatoren.* [28] *Sicherheitslampen.*

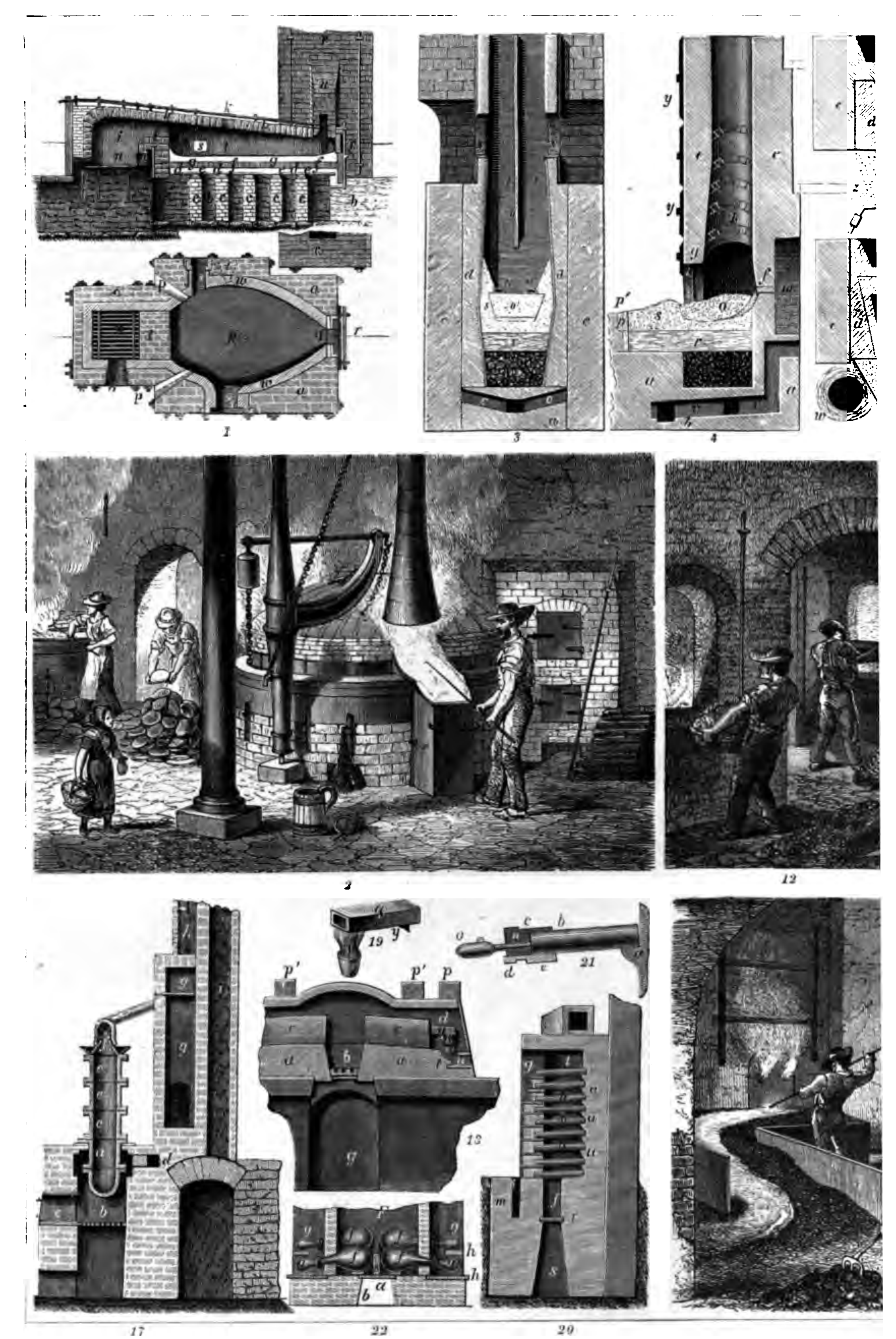
rockhaus in Leipzig.



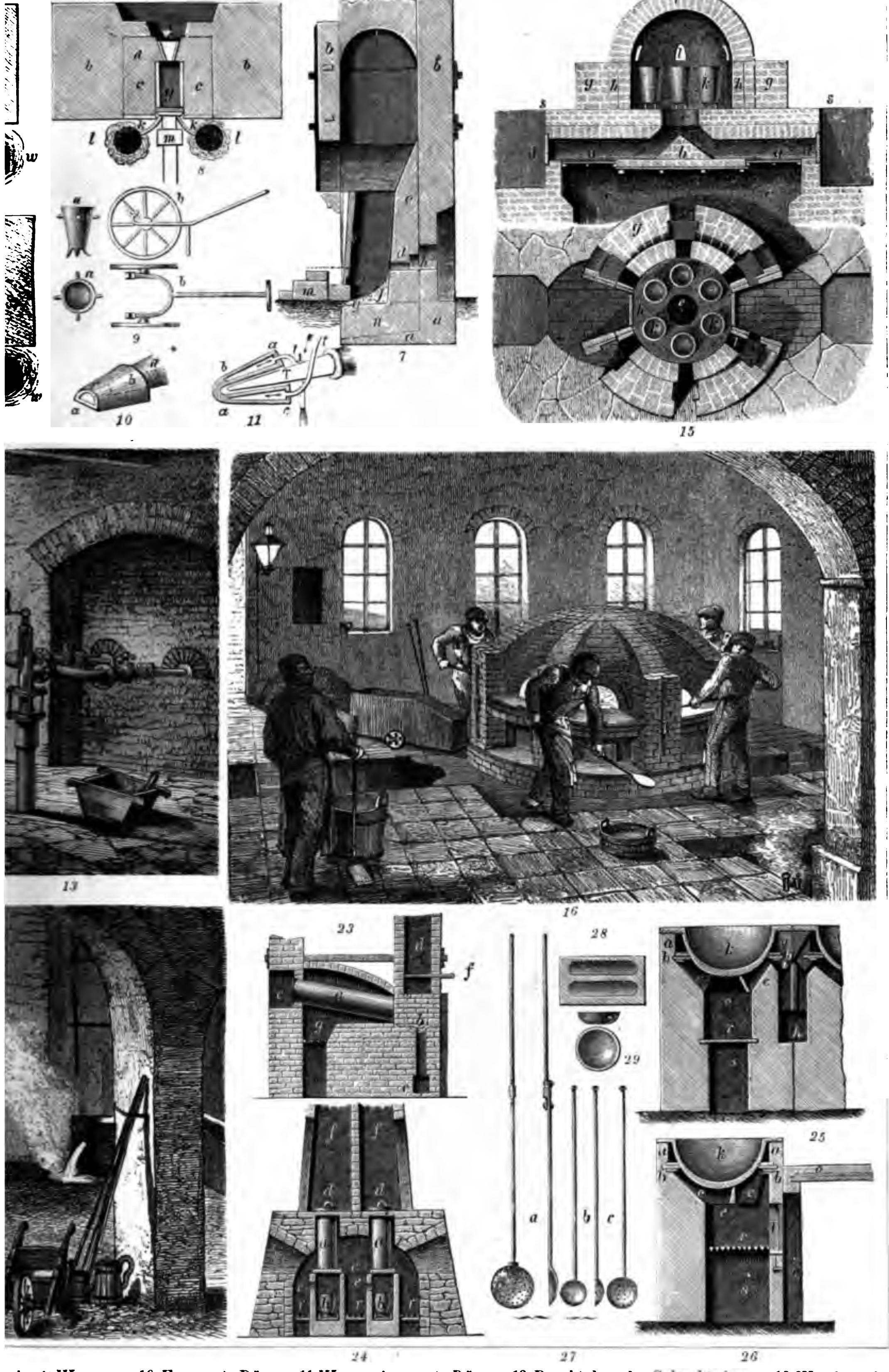
1 Fabry's Wetterrad. 2 u. 3 Wetterofen. 4 Radkunstgezeug. 5 u. 6 Seiten- und Vorderansicht einer Wassers
eines einfachwirkenden Drucksatzes. 12 Doppelwirkender Drucksatz. 13 Durchschnitt eines Saug- und Druck
und Vorderansicht eines Fördergerüstes m



[7] *Locomobilenkunstgezeug.* [8 u. 9] *Durchschnitt und Ansicht eines Saugsatzes.* [10 u. 11] *Hintere und Seitenansicht*
[14] ***Kunstkreuze.*** [15] *Krummzapfen.* [16] *Saugkolben.* [17] ***Fahrkunst.*** [18] *Fahrkunstgestänge.* [19] *Seiten-*
ung. [20] ***Mannschaftsförderung** am Seile.*

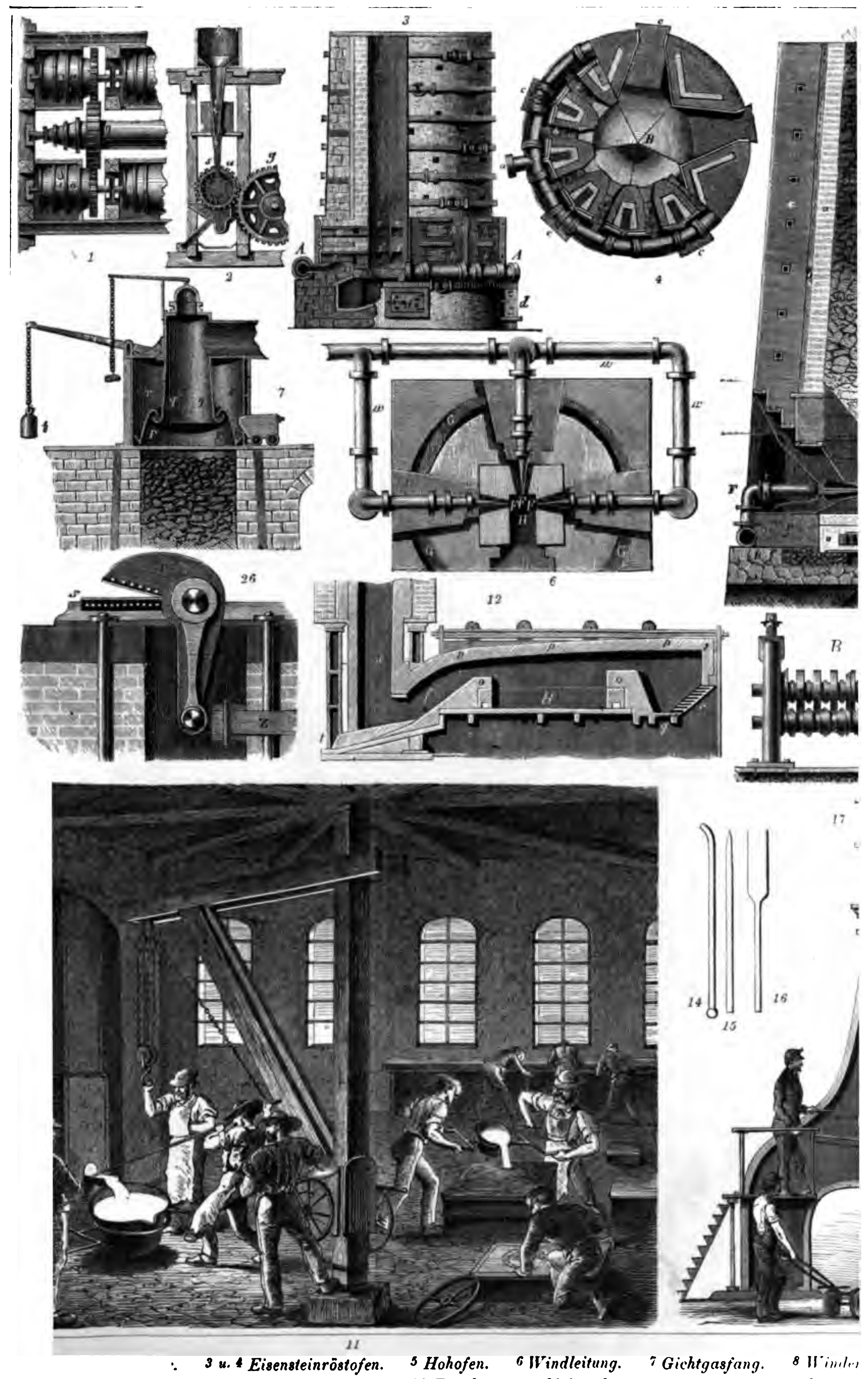


1 Flammofen. 2 Treibofen. 3-5 Schachtofen mit 2 Formen. 6 Schachtofen mit 4 Formen. 7 u. 8 Brillenofen. 9 … für 2 Formen. 14 Schachtofenhütte (Schlackenziehen, Abstechen). 15 u. 16 Blaufarben-Glasofen. 17 Sublimirofe… 27 Gezäh zu dem Pattinsonir…

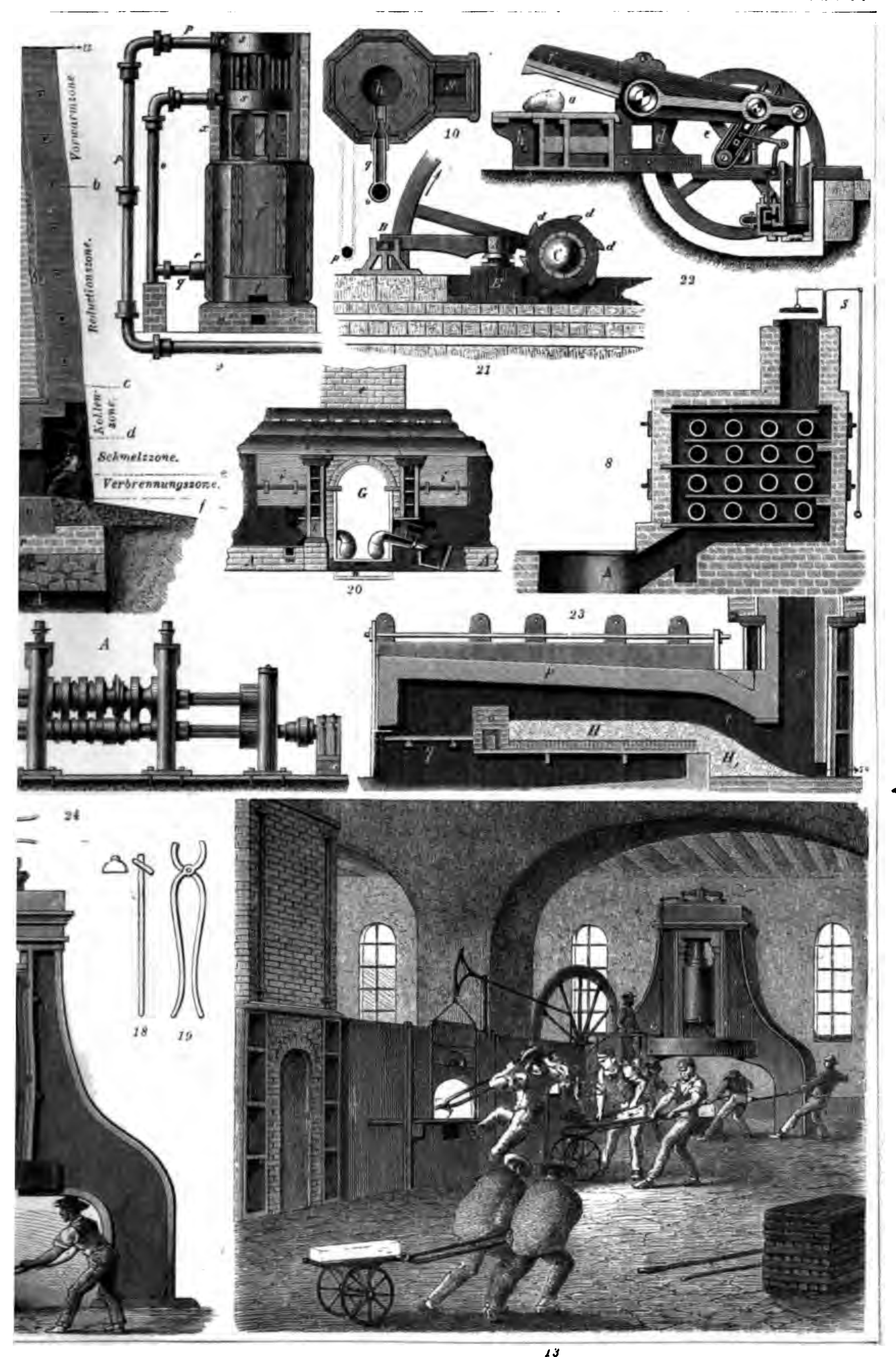


'el mit Wagen. [10] Form mit Düse. [11] Wasserform mit Düse. [12] Beschicken des Schachtofens. [13] Windständer
ıkdestillirofen. [22] Quecksilberofen. [23] Wismuthsaigerofen. [24] Antimonsaigerofen. [25] u. [26] Pattinsonkessel.
'eiform. [29] Werkbleiform.

:khaus in Leipzig.

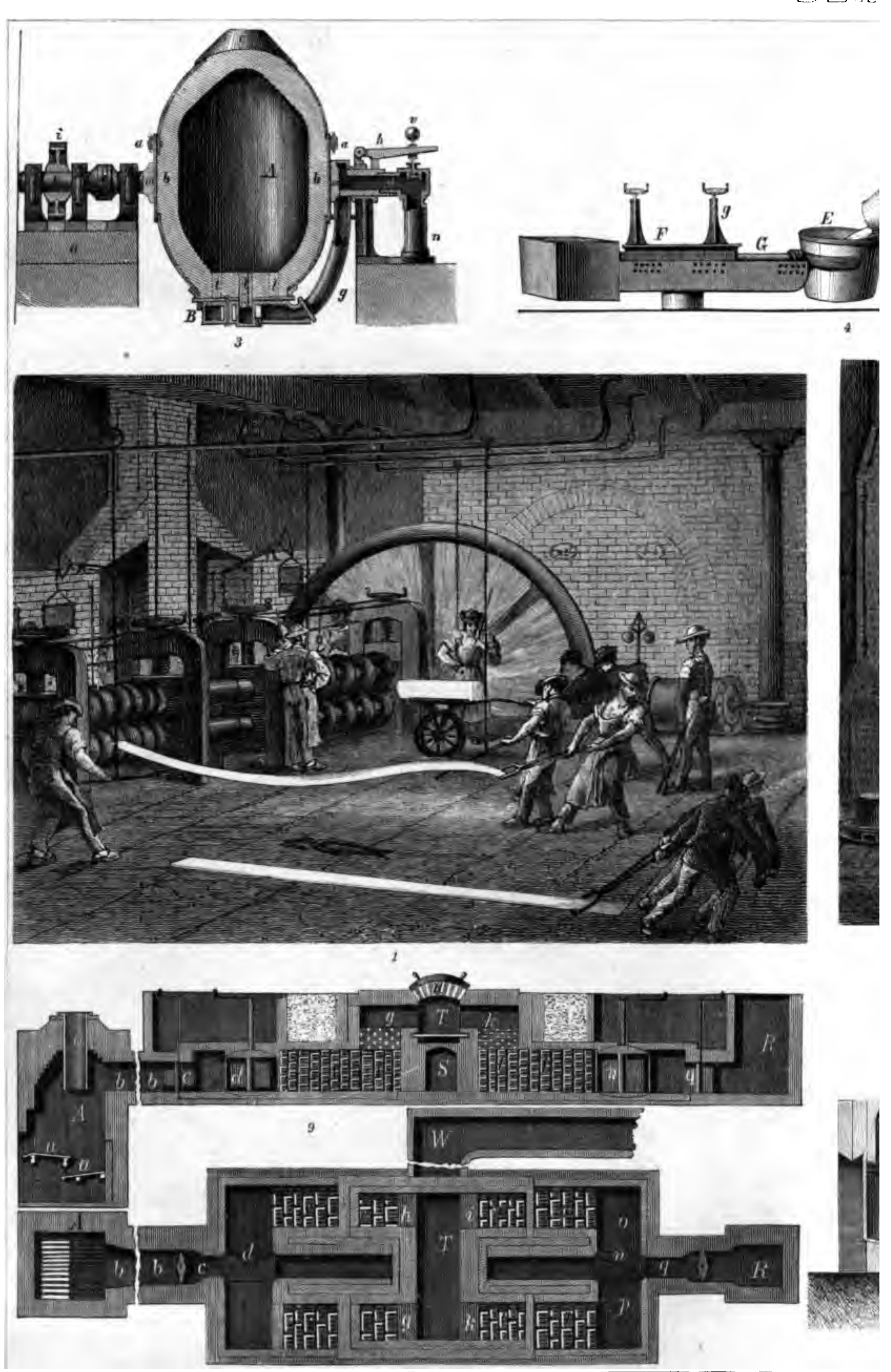


3 u. 4 Eisensteinröstofen. 5 Hohofen. 6 Windleitung. 7 Gichtgasfang. 8 Winder
20 Frischfeuer. 21 Stirnhammer. 22 Luppenquetscher.

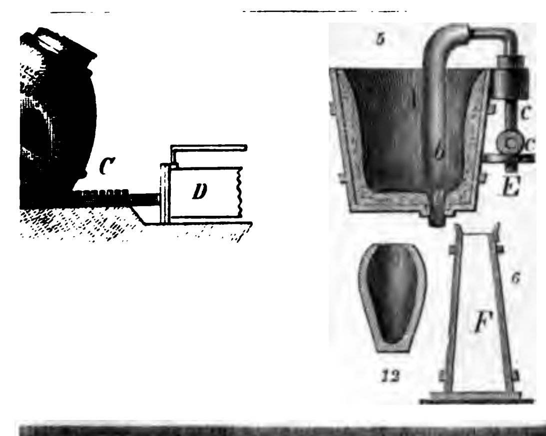


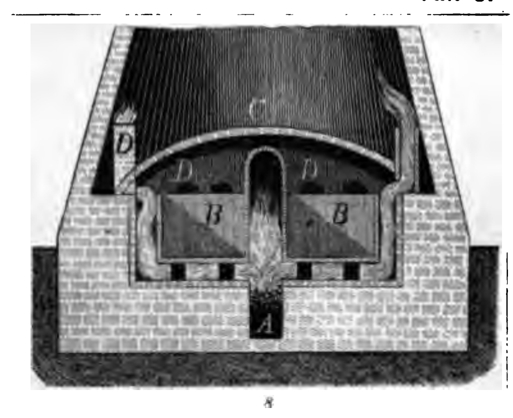
·at. 9 u. 10 *Cupolofen mit Winderhitzungsapparat.* 11 *Giesshütte.* 12 u. 13 *Puddelofen.* 14-19 *Puddelgezähe.*
en. 24 *Schienenwalzwerk.* 25 *Dampfhammer.* 26 *Schere.*





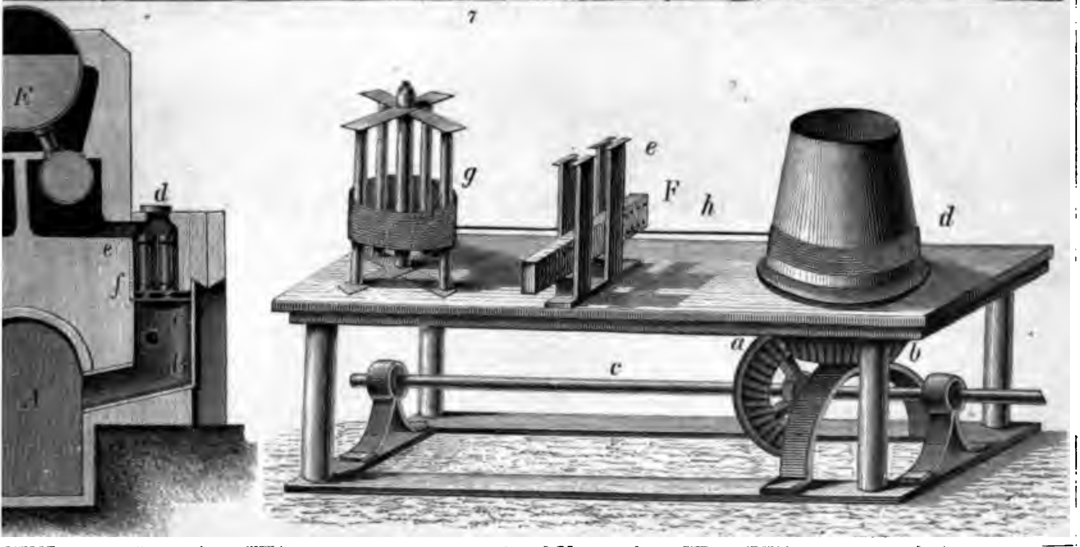
1 *Walzwerk.* 2 *Drahtleierwerk.* 3-6 *Apparate zum Bessemern.*







7



11 2

ütte. *8 Cementirofen.* *9-11 Gussstahlöfen.* *12 Gussstahltiegel.*

Atlas
der
Chemischen Technik.

Von

Dr. Friedrich Schoedler,
Director der großherzoglich hessischen Realschule in Mainz.

---

1 Tafel in Stahlstich und 9 Tafeln in Holzschnitt nebst erläuterndem Texte.

Separat-Ausgabe aus der zweiten Auflage des Bilder-Atlas.



Leipzig:
F. A. Brockhaus.
1873.

Atlas

der

Chemischen Technik.

Von

Dr. Friedrich Schoedler,

Director der großherzoglich hessischen Realschule in Mainz.

---

1 Tafel in Stahlstich und 9 Tafeln in Holzschnitt nebst erläuterndem Texte.

Separat-Ausgabe aus der zweiten Auflage des Bilder-Atlas.



Leipzig:

F. A. Brockhaus.

1873.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	3
Eintheilung der Chemie	5
Das chemische Laboratorium (Tafel 1)	5
Der chemische Apparat (Tafel 2 und 3)	8
1. Heizapparate	9
2. Trockenapparate	10
3. Hülfsapparate	10
4. Destillirapparate	11
5. Analytische Apparate	11
Die Elemente und ihre Verbindungen	14
Aus der unorganischen Chemie (Tafel 3 bis 7)	15
1. Sauerstoff	15
2. Wasserstoff	15
3. Stickstoff	19
4. Schwefel	20
5. Phosphor	23
6. Arsen	24
7. Kohlenstoff	24
8. Chlor	27
Chemische Technologie der Metalle (Tafel 6 und 7)	28
Chemische Technologie der organischen Verbindungen (Tafel 8 bis 10)	30
1. Bierbrauerei	31
2. Branntweinbrennerei und Spiritusfabrikation	35
3. Essigfabrikation	37
4. Zuckerfabrikation	38
A. Rohrzucker	39
B. Rübenzucker	39
5. Brotbereitung	44
6. Brotfabrikation	47

Einleitung.

Die uns umgebende Körperwelt ist fortwährender und vielfacher Veränderung unterworfen. Die Gewässer reißen Gestein aus dem Gebirg und zertrümmern dasselbe, indem sie es abwärts wälzen, zu Geröll und Sand; das Wasser selbst, indem es beim eintretenden Winter mehr und mehr erkaltet, erstarrt endlich zu Eis. Die Wärme des Frühlings gibt ihm jedoch wieder seine Flüssigkeit, ja sie ist im Stande, das Wasser zu verdunsten, es in Dampf zu verwandeln. Doch derartige Veränderungen an der Körperwelt sind nur äußerliche, unwesentliche, auf Form und Zusammenhang sich erstreckende; das Sandkorn bleibt als ein Bruchtheil des Gesteins, Wasser bleibt Wasser, sei es fest, flüssig oder dampfförmig.

Wenn wir dagegen unsere Oefen mit Holz oder Kohle heizen, so wird das Brennmaterial vollständig verzehrt; es scheint verschwunden aus dem Bereich der Körperwelt. Der Most schmeckt süß, weil er Zucker enthält; allein indem er in Gärung geräth, bildet sich Weingeist, und der Zucker verschwindet. Wir nennen die also veränderte Flüssigkeit Wein. Aber in gelinder Wärme dem Luftzutritt ausgesetzt, geht der Wein über in Essig; an die Stelle des Weingeistes ist Essigsäure getreten.

Das sind tief eingehende oder wesentliche Veränderungen, welche in den letztgenannten Beispielen die Stoffe erleiden, und es ließen sich unzählige ähnliche Erscheinungen anführen, deren Gesammtbetrachtung den Gegenstand eines besondern Zweigs der Naturwissenschaft, der Chemie, ausmacht. Indem die Chemie dem Wechselspiel der im Bereich der Materie vorgehenden wesentlichen Veränderungen nachforscht, gelangt sie zur Kenntniß der Natur der Körper selbst und zu den Gesetzen, nach welchen jene Erscheinungen sich vollziehen.

Geschichtliches. Als bezeichnendes Merkmal des 19. Jahrhunderts wird der Aufschwung betrachtet, den die Naturwissenschaften in seinem Verlaufe genommen haben und ganz vorzugsweise gilt dies von der Chemie. Ja sie wird als die jüngste aller Naturwissenschaften angesehen, als ein Kind der letztvergangenen Zeit, dessen Ausbildung sich fortsetzt in der Gegenwart.

Suchen wir nach den Anfängen chemischer Wissenschaft im Alterthume, so richtet sich der Blick zunächst nach dem hochgebildeten Volke der Griechen. Allein während wir bei demselben bereits einer staunenswerthen Entwickelung der Begriffe in den Gebieten der Philosophie, der Politik, des Rechts, der Kunst und Poesie begegnen und in der Mathematik sowie in den Elementen der Mechanik und beobachtenden Astronomie bemerkenswerthe Leistungen vorfinden, haben wir keinerlei Andeutung, daß chemische Vorgänge Gegenstand der Aufmerksamkeit der hervorragenden Geister dieses Volks gewesen sind.

Wenn wir daher bei einem geschichtlichen Ueberblick der Chemie auch bis in das Alterthum zurückgehen, so geschieht dies mehr, um Thatsachen als Ideen aus ihrem Gebiete aufzusuchen. Letztere verknüpfen sich erst allmählich mit den im Verlauf der Zeit gemachten chemischen Beobachtungen und Entdeckungen und erhoben sich erst ganz spät zum Rang theoretischer Auffassung. Es lassen sich hiernach fünf verschiedene Epochen oder Zeitalter der Chemie bilden, nämlich:

1) Zeitalter der chemischen Kenntnisse der Alten, bis 300 nach Christus;

2) Zeitalter der Alchemie oder Goldmacherkunst, von 300—1325;

3) Zeitalter der medicinischen Chemie oder Jatrochemie, von 1525—1650;

4) Zeitalter der phlogistischen Chemie, von 1650—1775;

5) Zeitalter der analytischen Chemie von 1775 bis zur Chemie der Gegenwart.

Was den Namen unserer Wissenschaft betrifft, so reicht derselbe zurück um 1400 Jahre. Bei Julius Firmicus Maternus, einem römischen Schriftsteller aus dem Anfange des 4. Jahrhunderts, kommen zuerst die Worte „scientia chimiae", also einer Wissenschaft der Chemie vor, die sich auf Operationen beziehen, die auch heute derselben noch angehören. Spätere, insbesondere griechische Schriftsteller schreiben auch: Chemia, Chemeia, Alchemeia und Arnemeia. Da das erste chemische Werk aus dem 9. Jahrhundert von Geber, einem Araber herrührt, so leitete man gewöhnlich den Namen Alchymie aus dem Arabischen ab, worauf insbesondere die dem arabischen Artikel entsprechende Vorsilbe al hinzuweisen scheint. Allein man begegnet in alten Schriften auch der Schreibart arquemie und archymie, die man aus ars chymiae entstanden vermuthet; durch die auch sonst in den Sprachen häufige Vertauschung von r und l sei dann aus Archymie endlich Alchymie entstanden.

Mehrfacher Zweifel herrscht ferner über die Bedeutung des Namens Chemie. Einige beziehen denselben auf das griechische Chymos, das Saft bedeutet; nach andern weist er auf Aegypten hin, das auch Chemia, nach seinem schwarzen Erdreich, genannt wird. Hier war auch in der That schon früh eine gewisse chemische Industrie verbreitet, und es mag damit zusammenhängen, daß die Chemie später auch als die ägyptische oder schwarze Kunst, Schwarzkunst bezeichnet wird.

Die Chemie des Alterthums beschränkt sich lediglich auf die Ausübung einiger Gewerbe, die auf chemischen Vorgängen beruhen, worin, wie erwähnt, die Aegypter entschieden hervorragten. Wie insbesondere aus Abbildungen ägyptischer Denkmäler hervorgeht, verstanden dieselben außer der Darstellung und Bearbeitung mehrerer Metalle und Metallgemische auch die von Salmiak, Soda, Kochsalz, Alaun und Glas; sie brannten Ziegel und gemalte Töpferwaaren, kannten Bleiweiß und Grünspan, und bereiteten Essig, Bier, Seife sowie verschiedene Arzneimittel, und besaßen die Kunst, Leichname einzubalsamiren, um sie vor Fäulniß zu bewahren.

Was wir bei den Phöniziern, Juden, Griechen und Römern Aehnliches vorfinden, läßt sich auf ägyptischen Ursprung zurückführen. Wenn China nach Alter und Umfang seiner chemischen Kenntnisse Aegypten über-

trifft, so blieb es doch abgeschlossen und ohne Einfluß auf deren Ueberlieferung und Weiterentwickelung.

Zwar scheint es, als ob die griechischen Philosophen sich bereits mit einer Frage beschäftigt hätten, die noch bis in die neueste Zeit ein Hauptgegenstand chemischer Forschung und Speculation geblieben ist, nämlich die Frage nach den Elementen oder Urstoffen aller Dinge. Allein dieselben gebrauchten das Wort Element in anderm Sinne, als gegenwärtig geschieht. Einige verstanden darunter die allgemeine Bedingung, aus welcher die ganze Körperwelt hervorgegangen sei, wie Thales das Wasser, Anaximenes die Luft und Heraklit das Feuer als das Ursprüngliche bezeichnen, während andererseits Aristoteles unter seinen Elementen verschiedene Urzustände oder Grundeigenschaften begreift, aus deren Vorhandensein und Mischung die verschiedenen Eigenschaften und Zustände der Körperwelt hervorgehen. Hiernach sind Feuer, Wasser, Luft und Erde Vertreter von Hitze, Trockenheit, Feuchtigkeit und Kälte, von deren Vorhandensein und Mischung die Eigenschaften der Dinge, wie heiß, kalt, trocken, feucht, schwer, fest, flüssig u. s. w. abhängen. Außerdem findet sich noch die Andeutung eines fünften ätherischen Elements, der essentia quinta, das vielleicht das Geistige vorstellen soll und später Gegenstand eifriger chemischer Nachforschung wurde, wie denn noch jetzt der Ausdruck Quintessenz gebräuchlich ist, um damit den sublimsten Gehalt von etwas zu bezeichnen.

Das Zeitalter der Alchemie datiren wir von dem Auftreten chemischer Schriften, die zuerst in griechischer Sprache abgefaßt, vornehmlich durch die in Europa eingedrungenen Araber uns übermittelt worden sind. Hervorragend und bis ins 16. Jahrhundert in Geltung bleibend sind die Schriften von Geber oder Dschafar, dem vom 13. Jahrhundert an in den andern Ländern Europas als bedeutendere Alchemisten nachfolgen Albertus Magnus, Roger Baco, Arnoldus Villanovus, Raymundus Lullus und Basilius Valentinus. Die Kunst Gold zu machen, insbesondere durch Umwandlung aus unedeln Metallen, ist hier Aufgabe der Chemie. Die Werke sind in einer mystischen, bildlichen, oft ganz unverständlichen Sprache geschrieben, und wenn auch die unermüdlichen und wunderlichen Arbeiten in der genannten Richtung ihr Ziel nicht erreichten, so wurden durch dieselben doch eine ganze Reihe schätzbarer Thatsachen zu Tage gefördert. Von chemischen Producten aus dieser Periode sind zu nennen: Schwefelmilch, Schwefelleber, Soda, Pottasche und Aetzkali, Schwefelsäure, Salpetersäure, Königswasser und Essigsäure, Präparate des Antimons, Quecksilbers, Silbers und Goldes, der Weingeist, Weinstein, Arsenik und das Ammoniak. Die Destillation und Sublimation waren bereits geläufige und vielfach angewendete chemische Operationen.

Im Zeitalter der medicinischen Chemie, das die Periode von 1525—1650 umfaßt, nehmen die alchemistischen Versuche der Goldmacherei ihren Fortgang, ja sie setzen sich fort bis in unsere Zeit, wenn auch mehr in den Hintergrund gedrängt und nur noch in den Händen von Betrügern. Dagegen betheiligen sich nunmehr Aerzte und gelehrte Mönche in hervorragender Weise an chemischen Arbeiten, deren Ziel vornehmlich auf Herstellung eines Universalheilmittels gerichtet war. Als solches wird der Stein der Weisen aufgeführt, der nebenbei noch die Tugend besitzen soll, geringe Metalle in Gold zu verwandeln, und das aurum potabile, die Goldtinctur. Im Gegensatz zu den Aerzten der Alten, die als Heilmittel nur einfache Mittel, wie Pflanzensäfte anwendeten, führt Paracelsus als solche die chemischen Präparate ein; ihm folgen Glauber, der Entdecker des wunderbaren Glaubersalzes, und am Ende der Periode der ausgezeichnete Arzt van Helmont, der die Gase von den Dämpfen unterscheiden lehrte. In den Schriften der Genannten ist ein erheblicher Fortschritt zu erkennen im Gegensatz zu der vorhergehenden kabbalistischen Schreibweise. Insbesondere zeichnen sich aus durch Klarheit und Genauigkeit die Schriften des Agricola über die Hüttenprocesse.

Das Zeitalter der phlogistischen Chemie, ebenfalls ungefähr hundert Jahre umfassend, fällt zusammen mit einer Periode wissenschaftlicher Bewegung, die, angeregt durch die vorhergegangenen Entdeckungen neuer Welttheile und gefördert durch die Erfindung der Buchdruckerkunst, eine großartige Umgestaltung der Ideen vorbereiten und bewirken mußte. Bezeichnend hierfür sind die Namen von Kepler, Galilei, Torricelli und des Philosophen Bacon von Verulam, der in den Naturwissenschaften den Versuch und die Beobachtung als die allein richtige Methode bezeichnet. Es werden ferner in diesem Zeitraume die Akademien der Wissenschaften gegründet, wichtig für Anregung und Verbreitung wissenschaftlicher Forschungen durch ihre Zeitschriften. An chemischen Arbeiten betheiligen sich nunmehr zahlreiche Männer aus den gebildeten Ständen, und insbesondere nehmen die Apotheker daran einen ehrenvollen Antheil. Von der Vermehrung, welche die Kenntniß chemischer Thatsachen erfuhr, ist besonders hervorzuheben die Entdeckung der wichtigsten Gase, wie des Sauerstoffs, Wasserstoffs, Stickstoffs, Chlors, Stickstoffoxyds, Chlorwasserstoffs, der Kohlensäure, schwefligen Säure und des Phosphors, auch verschiedener organischer Säuren und die Auffindung des Zuckers in einheimischen Gewächsen. Black, Cavendish, Priestley, Bergmann und Scheele betheiligten sich an diesem Verdienst. Ihren Hauptcharakter erhält jedoch diese Epoche von dem Auftreten der ersten chemischen Theorie, der sogenannten phlogistischen Theorie, welche von zwei ausgezeichneten Aerzten, Becher und Stahl, aufgestellt wurde. Dieselbe dreht sich um die Frage, warum Metalle beim Erhitzen an der Luft verkalken (d. i. sich oxydiren), und warum die entstandenen Metallkalke (Oxyde) beim Schmelzen mit Kohle wieder in Metalle zurückgeführt werden?

Zur Erklärung dieser Vorgänge wird die Existenz eines Stoffs angenommen, Phlogiston genannt, der in sehr geringer Menge in den Metallen enthalten ist; beim Erhitzen derselben entweiche er, wodurch sie ihre metallische Eigenschaft verlieren. Gewisse Körper sind sehr reich an Phlogiston, z. B. Schwefel, Phosphor und insbesondere Kohle. Wird daher letztere mit Metallkalken geglüht, so nehmen diese etwas Phlogiston auf und werden wieder zu Metallen. Diese für den damaligen Standpunkt scharfsinnige Theorie mußte sich unhaltbar erweisen, sobald man anfing, die chemischen Processe mit der Wage zu verfolgen, wodurch sich ergibt, daß die Metalle beim Verkalken an Gewicht zunehmen, und daß die Metallkalke bei der Zurückführung in Metalle an Gewicht verlieren, was unmöglich ist, wenn im ersten Falle Phlogiston entweicht und im letzten aufgenommen wird.

Mit der Einführung der Wage in die chemische Forschung geschieht gegen Ende des 18. Jahrhunderts der Uebergang in die Periode der analytischen Chemie, die vielleicht besser als die der wissenschaftlichen überhaupt bezeichnet worden wäre. Denn nunmehr wird die Chemie nicht lediglich mehr um ihres eingebildeten oder wirklichen Nutzens wegen getrieben, sondern viele widmen sich derselben als einem

Gegenstande rein wissenschaftlicher Forschung. Allerdings ist es die analytische Methode, welche von da an Weg und Fortschritt vorschreibt, d. h. die genaue Untersuchung, aus welcherlei Stoffen die Körper zusammengesetzt sind, die qualitative Analyse, und in welchen Gewichtsverhältnissen, die quantitative Analyse.

Dieses rationelle Betreiben der Chemie führte einerseits zum Begriff der chemischen Elemente, sowie zur Vermehrung ihrer Anzahl durch fortwährende Entdeckungen bis auf 63, worunter die der leichten Metalle von hervorragender Bedeutung war — andererseits leiteten die Ergebnisse der quantitativen Untersuchungen zur Erkenntniß von Gesetzen, an welche sich eine Reihe von Hypothesen, Theorien und Speculationen anschlossen.

Am Eingang dieser Periode zeichnet sich Lavoisier aus durch seine Widerlegung der phlogistischen Theorie vermittels der richtigen Erklärung des Oxydations- oder Verbrennungsprocesses. Von seinen Zeitgenossen nennen wir Fourcroy, Guyton Morveau, Berthollet, Richter und Klaproth.

Die große und stets sich mehrende Reihe der nachfolgenden Chemiker, deren viele zu den Lebenden gehören, bilden, je nach der Richtung ihrer Thätigkeit, mehrere Gruppen. Vorzugsweise Analytiker, insbesondere im Gebiet der unorganischen oder Mineralchemie, sind: Berzelius, Wöhler, Rose, Gmelin, Mitscherlich, Bunsen und Fresenius. Mehr als Physiko-Chemiker sind ausgezeichnet: Gay-Lussac, Dulong, Regnault, Faraday, Davy, Dalton, Graham und Kopp. An der Spitze der Chemiker, welche hauptsächlich die organische Chemie bearbeiten, finden wir Liebig, den Begründer der organischen Analyse, und zählen hierher noch Dumas, Gerhardt, Laurent, Hofmann, Kolbe und Kekulé.

Zahllose Entdeckungen von Stoffen, von denen nur der organischen Basen, wie des Chinins, gedacht wird, und die ins Unermeßliche sich mehrende Darstellung chemischer Verbindungen, stellen der Medicin, den Künsten und Gewerben neue und ungeahnte Hülfsmittel zur Verfügung; sie bilden ferner die Grundlage der theoretischen Chemie, die mit der Lehre von den chemischen Proportionen oder Aequivalenten, der Atom- und Volumtheorie, der Lehre vom Isomorphismus und von der elektrochemischen Theorie, von der Typen- und Moleculartheorie und der Valenz oder Werthigkeit der Atome ihren nicht vollendeten Entwickelungsgang antritt. Die Spectralanalyse eröffnet den Blick in die chemische Natur unerreichbarer Himmelskörper und gestattet die chemische Speculation auch im Gebiete des Weltraums.

Die Chemie ist nunmehr eine durchaus selbständige Wissenschaft auch in ihren Vertretern geworden. Bisher auf der Hochschule einem Professor der Medicin zugetheilt, besitzen jetzt alle Universitäten und polytechnischen Schulen besondere Lehrstühle der Chemie und ihr gewidmete Laboratorien. Ueberdies ist die Chemie herausgetreten aus der Beschränkung als Fachwissenschaft, sie ist als eins der allgemein bildenden Mittel aufgenommen worden in den Lehrstoff der Gymnasien und Realschulen.

Eintheilung der Chemie.

In der Art und Weise, wie unsere Wissenschaft bearbeitet und verwerthet wird, läßt sich dieselbe unterscheiden in reine Chemie und in angewendete Chemie. Den Eingang in erstere bildet die Experimental-Chemie, d. i. ein Vortrag über die chemischen Erscheinungen, begleitet von den zum Verständniß unentbehrlichen Versuchen oder Experimenten. Als pneumatische Chemie bezeichnete man früher den von den Gasen handelnden Theil derselben. Die Experimentalchemie wird eingetheilt in die unorganische oder Mineralchemie, welche von den Stoffen handelt, die der unorganischen Körperwelt entnommen werden, und in die organische Chemie, früher auch als Phyto- und Zoochemie bezeichnet, welche die chemischen Verbindungen betrachtet, deren Ursprung aus dem Bereiche der Pflanzen und Thiere sich ableitet. Der Experimentalchemie geht zur Seite die analytische Chemie, welche als das A-B-C des praktischen Chemikers anzusehen ist, denn sie lehrt die Handgriffe und Methoden, welche erforderlich sind, die Stoffe in ihre Bestandtheile zu zerlegen und die Mengen der letztern zu bestimmen. Die theoretische Chemie hat als Gegenstand die kritische Forschung und Darstellung der Gesetze, welche aus der Fülle chemischer Thatsachen sich ergeben, sowie den Versuch, dieselben auf Grundursachen zurückzuführen; sie wird hierbei stets mehr oder weniger zur speculativen Chemie. Ein Theil derselben, der von den Gewichtsverhältnissen handelt, in welchen die Stoffe sich verbinden, hat man als Stöchiometrie bezeichnet.

Die angewendete Chemie setzt selbstverständlich die reine Chemie voraus, denn sie ist deren Beziehung und Hülfeleistung im Gebiete anderer Zweige der Wissenschaft oder der Künste und Gewerbe. In diesem Sinne spricht man von einer medicinischen, physiologischen und pharmaceutischen Chemie, von einer technischen Chemie im allgemeinen und von besondern Zweigen derselben, der Metallurgik oder bergmännischen Chemie, von der Gärungs- oder Zymochemie, der Farbenchemie und endlich von landwirthschaftlicher oder Agriculturchemie u. a. m.

Das chemische Laboratorium.

(Tafel 1.)

Man hatte sich gewöhnt, seine Vorstellung über das Aussehen und die Einrichtung eines chemischen Laboratoriums nach den Gemälden der niederländischen Schule zu bilden, die uns in wiederholten Darstellungen von photographischer Genauigkeit die Scenerie der Werkstätte eines Alchemisten damaliger Zeit überliefert haben. Durch diese Bilder ist dieser geradezu eine typische, romantische Figur geworden. Im schwarzen Talar und Baret, mit langem weißen Bart sitzt er im geschnörkelten Sessel, vertieft in den alten Folianten kabbalistischer Monogramme. Das Laboratorium selbst ist ein geheimnißvoller, düsterer Winkel, ausgestattet mit wunderlichem Kram, fremdartige Thiergestalten in Gläsern und aufgehängt an der Decke, rings umher mannichfaches Geräthe, Flaschen, Kolben, Phiolen von seltsamer Form. Aus der dunkelsten Ecke leuchtet unter dem mächtigen Destillirapparat die feurige Glut, und man ist des Augenblicks gewärtig, aus der Lohe den Homunculus, den rothen Drachen oder Salamander hervorspazieren zu sehen.

Von diesem traditionellen Bilde der alchymistischen Hexenküche, wo Zaubertränke gebraut und Wundermittel destillirt wurden, ist das heutige chemische Laboratorium um so mehr verschieden, als man erst in der neuesten Zeit seinen Zweck klar erfaßt, hiernach seine Einrichtung getroffen und seinen Ausbau vollendet hat. Die Laboratorien dienen heutzutage vorzugsweise dem wissenschaftlichen Unterricht in der Chemie, der ohne die praktische Uebung nur in der

Anhäufung eines unfruchtbaren Gedächtnißwerks bestehen würde.

Während im Beginn des Zeitalters der wissenschaftlichen Chemie die Meister in der chemischen Experimentirkunst nur wenigen bevorzugten Schülern ihre Werkstätten öffneten, wie Berzelius in Stockholm, Gay-Lussac in Paris, Rose in Berlin, richtete vor etwa vierzig Jahren Liebig in Gießen zuerst ein öffentliches Universitätslaboratorium ein, das, mit bescheidenen Mitteln begonnen, zur Pflanz- und Musterschule der Methodik in praktischer Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten geworden ist. Seitdem sind ähnliche Anstalten an allen Universitäten und technischen Hochschulen entstanden, und es gewinnt den Anschein, als ob bei einigen derselben die verspätete Herstellung hätte gut gemacht werden sollen durch wahrhaft palastartige Bauwerke mit verschwenderischer innerer Ausstattung.

Das erst im Jahre 1869 vollendete neue Universitätslaboratorium zu Leipzig sollte alle bei den vorhergegangenen Einrichtungen derselben Art gemachten Erfahrungen benutzen und die bewährten Vorzüge in sich vereinigen, und dadurch als eine Musteranstalt sich erweisen. Es ist daher ganz vorzüglich geeignet, in Bild und Wort Zweck und Ausführung eines modernen chemischen Laboratoriums zur Anschauung und zum Verständniß zu bringen. Dasselbe ist mit einem Aufwand von 80000 Thalern nach der Idee und den Entwürfen des zeitigen Dirigenten, des Professors der Chemie H. Kolbe, vom Architekten Zocher erbaut worden.

Die Einrichtung des Laboratoriums ist dahin bemessen, daß darin 130 Praktikanten an hierfür eingerichteten Tischen ebenso viele Arbeitsplätze finden. Es sind ferner für gewisse chemische Arbeiten und Versuche Locale mit besondern Vorrichtungen vorhanden. Ueberdies sind die erforderlichen Säle für die Vorträge, sowie die Wohnräume für den Professor und die Assistenten mit einbegriffen.

An der Hand von Taf. 1, Fig. 1, die das Erdgeschoß, und Fig. 2, welche das obere Stockwerk im Grundriß darstellt, läßt sich nachweisen, in welcher Vollständigkeit diesem Zwecke genügt ist. Betrachten wir zunächst eine Reihe von Einrichtungen, welche in beiden Stockwerken die gleiche ist, so begegnen wir den Arbeitssälen A, A′ mit je vier, resp. je sechs Arbeitstischen, von welchen die des Erdgeschosses für Anfänger bestimmt sind, während im obern Stock die bereits geübten Chemiker arbeiten. Außerdem ist noch eine Anzahl von Arbeitsplätzen an den Fensterpfeilern, Fensternischen und passenden Stellen der Seitenwände angebracht. B B sind geräumige Experimentirzimmer, mit langen Tischen, für solche Arbeiten, die eine Aufstellung von größern Apparaten erfordern. C C sind offene Hallen, die nach Bedarf einen Fensterverschluß erhalten können, während D D gänzlich offene Hallen sind. In diese Locale werden Arbeiten verlegt, bei denen in großer Menge übel riechende oder schädliche Gase und Dämpfe sich entwickeln. E und E sind Zimmer für die Arbeiten mit Schwefelwasserstoff. Dieses abscheulich riechende und in größerer Menge giftig wirkende Gas ist eins der wichtigsten Reagentien, unentbehrlich in der qualitativen und quantitativen Analyse, sodaß es fortwährend in Gebrauch kommt und den Laboratorien älterer Einrichtungen hauptsächlich ihren specifischen Geruch verleiht. Es ist daher mit Recht in ein abgesondertes Gemach verwiesen worden, wohin eine Leitung das Schwefelwasserstoffgas aus einem in dem Kellerraume befindlichen Gasometer führt, das von Zeit zu Zeit damit gefüllt wird, und aus welchem durch eine einfache Vorrichtung aller überschüssige Schwefelwasserstoff von der großen, stets warmen Feueresse so vollständig aufgesogen wird, daß man gar nichts von seinem häßlichen Geruche verspürt. Eine Anzahl von Hähnen stellt es den Laboranten zur Verfügung, und es gewährt diese Einrichtung den doppelten Vortheil von Bequemlichkeit und Ersparniß. In F und F sehen wir kleine Laboratorien für die Privatarbeiten der Assistenten. G und G sind Kammern, worin Reagentien vorräthig gehalten werden. Im Erdgeschosse begegnen wir dem Zimmer K, welches als mechanische Werkstätte dient, sodann dem Wagenzimmer I, wo seine Wagen aufgestellt sind. Letzterm Zwecke und zugleich als Bibliothekzimmer dient der Raum K des Oberstocks. Diese Bibliothek ist besonders mit solchen Werken ausgestattet, in denen der Laborant bei seinen Arbeiten sich Raths zu erholen hat.

Auch die pyrotechnischen Arbeiten, wie metallurgische Schmelzungen, lang andauernde Glühversuche in sehr hohen Temperaturen, machen besondere Oertlichkeiten und Einrichtungen erforderlich, mit starkem Luftzug und feuerfestem Mauerwerk. Solche finden sich in einem hellen gewölbten Raume des Souterrains.

Das Local H (Fig. 2) enthält Vorrichtungen ganz eigenthümlicher Art, die in neuerer Zeit eine wichtige Rolle, vorzugsweise in der organischen Chemie spielen. Die chemische Verwandtschaft zwischen den Elementen und Verbindungen derselben äußert sich in vielen Fällen ganz verschieden, je nachdem dieselben bei gewöhnlichen Temperatur- und Luftdruck-Verhältnissen oder bei lang andauernder hoher Temperatur und hohem Druck aufeinander einwirken. Zu Versuchen der Art werden die betreffenden Stoffe in starke Glasröhren gebracht, letztere zugeschmolzen und im Oel- oder Metallbade auf 200 — 300° C. erhitzt. Hierbei entsteht, wenn flüchtige Körper vorhanden sind, im Innern der Glasröhre ein außerordentlich starker Druck, der nicht selten dieselbe in gefährlicher Weise für den Experimentirenden zersprengt. Zu Vermeidung der Gefahr wird die Glasröhre nochmals in eine eiserne Hülse eingeschlossen. Als Beispiel von Producten chemischer Einwirkungen der Art sind die Anilinfarben anzuführen, von denen viele nur unter den eben beschriebenen Bedingungen gebildet werden.

Der Raum H des Erdgeschosses und M in der Etage sind Garderobezimmer, worin der Praktikant nicht blos Hut, Ueberrock, Schirm 2c. ablegt, sondern in der Regel auch einen Costümwechsel vornimmt, da die chemischen Arbeiten stets mit Gefahr für die Integrität des Anzugs verknüpft sind. Ein Tropfen Salpetersäure genügt, um einen unvertilgbaren Fleck, ein Tropfen Schwefelsäure, um ein Loch zu erzeugen, Grund genug für die Beförderung eines emeritirten Kleidungsstückes zum Laborirrocke. Das arbeitende Personal bietet nach dieser Metamorphose allerdings eine interessante Mannichfaltigkeit antiquirter Trachten dar.

Imponirend und ansprechend ist der Eindruck, welchen der in den großen Hörsaal M Eintretende empfängt. Derselbe ist von zwei Seiten durch acht sehr große Fenster erleuchtet und hat auf neun terrassenartig aufsteigenden Bänken und Stühlen 180 Sitzplätze. Fig. 3 gewährt uns den Einblick in dieses ebenso zweckmäßig als geschmackvoll eingerichtete Local. Ueber die Bänke hinweg sehen wir vor uns den großen Experimentirtisch des vortragenden Professors, bedeckt mit Apparaten der verschiedensten Art. In der Mitte der Hinterwand befindet sich eine schwarze Tafel, auf welcher derselbe die chemischen Formeln anschreibt und die Bilder der sich vollziehenden Zersetzungen und Umsetzungen entwirft. Diese Tafel ist nach oben verschiebbar, wie unser Bild darstellt, wodurch der Blick

in eine Nische geöffnet ist, in der die Versuche angestellt werden mit übelriechenden Stoffen, ohne Belästigung der Zuhörenden. Zugleich sieht man in das hintere Präparirzimmer (N, Fig. 1), aus welchem der Assistent nach Bedarf die hergerichteten Apparate und Präparate darreicht. An beiden Seiten der Tafel sind die zu den Versuchen erforderlichen Reagentien aufgestellt. Der obere Theil der Rückwand ist in Felder getheilt, auf welchen deutlich lesbar die Namen der chemischen Elemente, mit Beifügung ihrer Zeichen und Atomgewichte, angeschrieben sind, sodaß sie, stets vor dem Auge des Zuhörers befindlich, leicht dem Gedächtniß sich einprägen. In dem Mittelfeld ist die Büste des erhabenen Gönners der Kunst und Wissenschaft, des greisen Königs Johann von Sachsen aufgestellt; derselben gegenüber die des Ministers von Falkenstein, der sich hohe Verdienste um die Förderung der Universität Leipzig und des chemischen Instituts insbesondere erworben hat. An den beiden Seitenwänden befinden sich die Büsten der Koryphäen der Chemie, von Liebig und Wöhler, sowie von Berzelius und Mitscherlich. Ein reicher Armleuchter für Gaslicht und drei an Stelle der drei Rosetten in der Decke des Saals über dem Experimentirtisch eingesetzte Gassonnen erhellen bei abendlichen Vorlesungen den Hörsaal.

Den Vorbereitungszimmern N und N′ benachbart ist der große Saal O, welcher die Sammlungen chemischer Präparate und Apparate enthält. Er birgt die eigentlichen Schätze der gesammten Anlage, aufgestellt in Glasschränken. Hier finden wir in möglichster Vollständigkeit beisammen die 63 Elemente, aus denen die greifbare Welt zusammengesetzt ist, und die zahllosen Combinationen, in welchen dies sich verwirklicht hat. Doch nur das specifisch chemisch gebildete Auge weiß den Werth des oft unscheinbaren Inhalts der Gläser zu schätzen, die demselben sich darbieten.

Ein rascher Sprung vom äußersten Süd des Gebäudes nach dem äußersten Norden führt uns in den kleinen Hörsaal P. Daneben befinden sich die Wohnzimmer für Assistenten Q Q′, R R′, S S′. Den Schluß bildet das kleine Zimmer T; es steht durch kein Fenster in Verbindung mit der Außenwelt und dient deshalb zu solchen Versuchen, welche absoluten Ausschluß des Tageslichts erheischen.

Ein ähnliches, größeres Zimmer mit schwarzen Wänden, Fußboden und Decke, mit nur einem Fenster, welches leicht lichtdicht verschlossen werden kann, ist der im obern Stockwerk gelegene Raum Q. Dasselbe dient zu photometrischen Messungen und andern optischen, speciell zu Spectralversuchen. Anknüpfend an einige bereits bekannte Thatsachen haben die Untersuchungen von Bunsen und Kirchhof über den Einfluß der in einer Flamme befindlichen Dämpfe auf das Spectrum, d. i. auf das farbige Bild, in welches ein Prisma den hindurchgehenden Lichtstrahl zertheilt, eine unschätzbare Methode ergeben, um die Gegenwart unendlich geringer Mengen eines Elements zu erkennen, eine Methode, die nicht nur zur Entdeckung mehrerer bis dahin unbekannter Elemente führte, welche unserer Erde angehören, sondern die auch gestattet, über die chemischen Elemente, aus welchen andere Weltkörper zusammengesetzt sind, sichere Anhaltepunkte zu geben. Grund genug, um dieser Methode der Spectralanalyse ein in aller Vollkommenheit ausgestattetes Local anzuweisen.

Die übrigen, mit W W ... bezeichneten Räume des Erdgeschosses machen einen Theil der Wohnung des Professors aus, deren übrige Gemächer in Fig. 2 durch die gleichen Buchstaben kenntlich gemacht sind.

Wir sind hiermit wiederum im obern Stock angelangt, wo noch einige Zimmer zu besuchen sind. L ist das Local zur Ausführung der organischen Analyse, nach der Methode, die mit Liebig's Namen unzertrennbar verknüpft ist. Sie beruht im wesentlichen darin, daß die meisten organischen Körper, nur aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehend, verbrennlich sind. Die Verbrennung derselben aufs vollständigste zu bewirken, die entstehenden Producte aufzusammeln und zu wiegen und somit die quantitative Zusammensetzung der organischen Körper zu ermitteln, ist das Verdienst dieser S. 12 eingehend besprochenen Methode. Zu ihrer Ausführung findet sich hier alles vereinigt und aufs zweckmäßigste eingerichtet.

Neben dem Privatlaboratorium N des Professors befindet sich dessen Sprech- und Geschäftszimmer O. Der Raum P dient dem Professor theils zur Ausführung organischer Elementaranalysen, theils zum Ueberhitzen hermetisch verschlossener Röhren, und enthält außerdem eine dem Chemiker so nothwendige Badevorrichtung mit Wasser- und Dampfleitung. R ist ein zur Aufstellung der Theilmaschine und anderer feinerer Instrumente bestimmtes Local. Endlich erreichen wir das Zimmer S für Gasanalysen. Letztere erfordern eine höchst genaue Abmessung der in Untersuchung befindlichen Gase, und da deren Volumen mit jedem Temperaturwechsel sich ändert, so wurde hauptsächlich darauf Rücksicht genommen, daß dieses Zimmer nach Norden liegend und durch seine Geräumigkeit möglichst unempfindlich ist für Schwankungen in der Temperatur.

Somit hätten wir den Gang durch sämmtliche Räumlichkeiten dieser Stätte des chemischen Studiums beendet. Wir nehmen nunmehr unsern Standpunkt an der Eingangsthüre des Arbeitssaales (Fig. 4) und gewinnen hiermit den Ueberblick über einen Schauplatz reger praktischer chemischer Thätigkeit. In dem geräumigen, hellen Local stehen sechs große Arbeitstische, jeder eingerichtet für vier Arbeiter. Ein breiter Gang trennt die beiden Reihen der Tische, um welche überdies ringsum ein hinreichender Abstand zur bequemen Bewegung zwischen denselben bemessen worden ist. Die gegenüber geöffnete Thüre gewährt eine perspectivische Aussicht durch die ganze Länge des Gebäudes und eine Vorstellung von der beträchtlichen Ausdehnung desselben.

Die Abbildung eines einzelnen Arbeitstisches (Fig. 5) ist von photographischer Genauigkeit, sodaß wir fast im Stande sind, die angehefteten Namen der Laboranten lesen zu können, die aus allen Ländern sich zusammenfinden an dieser zur Zeit ersten Universität Deutschlands. Der Arbeiter findet da auf seinem Werkplatz alles vereinigt, was für die Mehrzahl seiner Versuche erforderlich ist. Gummischläuche liefern ihm bewegliche Gasflammen, und Röhren der Wasserleitung, nach Bedarf, kaltes Wasser; durch ein Becken nehmen alle abfälligen Flüssigkeiten ihren Abfluß. Eine Garnitur von Reagentien steht jedem zur Verfügung und ein einfacher Winkelhacken dient gleichzeitig zur Sperrung der Schubladen und Schränke, worin der Laborant seine weitern Requisiten aufbewahrt. Auf dem mit einer Eichenholzplatte bedeckten Tische sehen wir Apparate der verschiedensten Art aufgestellt, zum Filtriren, Destilliren, Titriren u. s. w. In der Mitte zwischen je zwei Repositorien ist zum Gebrauch für je zwei Praktikanten eine Bunsen'sche Wasserluftpumpe befestigt, an dieser Stelle hauptsächlich zum raschen Filtriren und Auswaschen bestimmt.

Die Methode der quantitativen Analyse unorganischer

Verbindungen, insbesondere der Minerale, besteht im wesentlichen darin, diese Körper erst in gelösten Zustand zu versetzen und alsdann aus den Lösungen nacheinander die einzelnen Bestandtheile in Gestalt unlöslicher, pulverförmiger Niederschläge auszuscheiden. Ein jeder derartiger Niederschlag muß auf einem Filter gesammelt, von anhängenden Stoffen ausgewaschen, getrocknet und gewogen werden, alles mühsame, viele Sorgfalt und Geduld erfordernde Operationen, die, stets wiederkehrend, sich äußerst zeitraubend erweisen. Außerordentlich vereinfacht und abgekürzt werden dieselben, wenn das auf den Niederschlag gegossene Wasser, mit einem verstärkten Druck auf denselben wirkend, die von ihm zurückgehaltene Lösung gewaltsam verdrängt. Hierbei wird von dem atmosphärischen Drucke in folgender Weise Anwendung gemacht. Das Filter von Fließpapier, welches bestimmt ist, den Niederschlag aufzunehmen, wird mit seiner Spitze in einen unten im Trichter eingesetzten Hohlkegel von Platinblech eingepaßt, und wird überall an die Wandung des Trichters fest angelegt. Hierdurch wird das Zerreißen des Filtrirpapiers verhindert, wenn das Wasser unter starkem Druck dasselbe durchdringt. Der Platinkegel paßt auf das genaueste in den Glastrichter T, Fig. 6, der vermittels eines durchbohrten Korkes luftdicht in den Hals eines Kolbens K von starkem Glas gesteckt ist. Ein zweites durch den Kork gehendes Glasrohr steht durch ein Kautschukrohr R in Verbindung mit einer Vorrichtung, welche die Luft in dem Kolben verdünnt. Sobald dies geschieht, drückt die Luft die mit dem Niederschlag auf das Filter gebrachte Flüssigkeit in einem Strahle aus der Spitze des Trichters, und in gleicher Weise das wiederholt aufgegossene Waschwasser, sodaß in einigen Minuten das Geschäft der Auswaschung vollendet ist, worauf der Niederschlag mit dem Filter herausgenommen, geglüht und gewogen werden kann.

Da der Luftdruck zuweilen den Kolben zersprengt, so wird derselbe in eine Art Becher B von Blech eingestellt und dessen Oeffnung mit Tuch bedeckt, was das Umherschleudern von Glassplittern verhindert.

Die Luftverdünnung im Kolben durch eine gewöhnliche Luftpumpe zu bewirken, erweist sich nicht zweckmäßig, da der in den Waschwassern häufige Gehalt von Säuren, Schwefelwasserstoff u. a. m. die Metalltheile der Maschine angreifen würde. Man bedient sich dazu besser jener Bunsen'schen Wasserluftpumpe. Es genügt zu diesem Zwecke, das vom Kolben abgehende Kautschukrohr luftdicht mit dem Behälter in Verbindung zu setzen, aus welchem Wasser in einem Rohr mit einer Fallhöhe von 10 — 12 Meter ausfließt und hierdurch die Luft aus dem Kolben saugt.

Zum Schluß noch einige Worte über Heizung und Ventilation sämmtlicher Arbeitsräume. Erstere geschieht mittels heißer Wasserdämpfe, die von einem im Souterrain liegenden Dampfkessel durch ein System eiserner Röhren nach etwa 30 einzelnen Localitäten sich verbreiten und dieselbe in angenehmer und leicht zu regulirender Weise erwärmen. Aus derselben Quelle wird auch der für die Wasserbäder und Trockenschränke erforderliche Dampf gezogen und zugleich das destillirte Wasser geliefert. Im Sommer werden letztere aus einem zweiten kleinern Dampfkessel gespeist.

Die Ventilation wird bewirkt durch weite Züge, welche frische, im Winter gewärmte Luft von außen herbeiführen, und ebenso weite Schornsteine, welche durch Mündungen in der Nähe des Fußbodens und der Decke des Zimmers die verdorbene Luft beständig auffaugen und hinwegführen. Infolge dessen herrscht in den Laboratoriumssälen immer eine reine gesunde Atmosphäre.

Der chemische Apparat.

(Tafel 2 und 3.)

Anspruchslos und unscheinbar, fast ärmlich nimmt der chemische Apparat sich aus, wenn wir ihn vergleichen mit dem physikalischen. Welchen Eindruck macht auf den Laien der Besuch eines physikalischen Cabinets! Hinter spiegelnden Glasscheiben schimmern und glänzen ihm ganze Reihen der wundersamsten Apparate entgegen; er erkennt in der feinen Ausführung der Maschinen in Messing und Stahl, in Holzwerk und Glas Meisterwerke der feinern Mechanik, und in der That berechnet sich der Werth eines solchen physikalischen Inventars auf viele Tausende, denn an reich ausgestatteten Anstalten reihen sich zwei, drei und mehr Säle aneinander, mit immer neuen Instrumenten.

Von all diesem Glanz hat der Chemiker nichts aufzuweisen; wenn wir ihn überraschen inmitten der vollsten experimentellen Thätigkeit, dann finden wir seinen Arbeitstisch bedeckt mit allerlei Geräth, das weder durch Pracht noch durch Kostbarkeit unsere Bewunderung erregt. Und wenn er uns im Gefühl seines Reichthums vor die Spiegelscheiben seiner Präparatensammlung führt und mit Stolz auf sie hinweist, so erblicken wir dahinter nichts als Reihen von Gläsern aller Größe, gefüllt mit Stoffen aller Farben. Der Blick in die Aufstellung einer Apotheke oder eines Materialkrams ist davon nur wenig verschieden. Und dennoch verschließen die Behälter der chemischen Sammlung die merkwürdigsten Stoffe und Verbindungen, mitunter von größter Seltenheit und Kostbarkeit. Es ist hier in Wirklichkeit eine Musterkarte der Elementarwelt aufgestellt, aus der alles sich aufbaut und in die alles wieder zerfällt im Kreislauf des chemischen Processes. Aber es erfordert einen Sachverständigen, einen Kenner, um diese Schätze zu würdigen.

Die Unterhaltungskosten eines großen Laboratoriums und die eines physikalischen Cabinets bemessen sich nach ganz verschiedenen Gesichtspunkten. Die Einrichtung für eigentlich chemische Arbeiten ist verhältnißmäßig billig, und man reicht hier mit Hunderten von Thalern weiter, als beim physikalischen Apparat mit so viel Tausenden. Allein während der letztere, einmal angeschafft, jahrelang seine Dienste leistet — man denke an die Luftpumpe, die Fallmaschine, die Hebelwerke und optischen Instrumente —, findet im chemischen Laboratorium ein täglicher Consum statt. Das chemische Experiment, das seinem Wesen nach in der Einwirkung verschiedener Stoffe besteht, die dabei verändert werden, verbraucht und verzehrt fortwährend Material. Es ist wie ein Organismus; es erzeugt neue Stoffcombinationen und scheidet Abfälle aus.

Sehen wir uns nun den chemischen Apparat näher an, so steht das Glasgeräth obenan; es ist das Universalgeschirr des Chemikers, sei es in Gestalt von Kolben oder Kochflaschen, Retorten, Bechern, Ballonen, Glocken, Cylindern, Trichtern, Probirgläsern und Flaschen der verschiedensten Art, darunter die sogenannten Wulf'schen, zwei- und dreihalsigen Flaschen, wovon Taf. 3, Fig. 16 ein Beispiel ist. Eine ganz besonders wichtige Rolle spielen die Glasröhren; sie bilden die Kanäle, durch welche der Chemiker den Gasen und Dämpfen ihre Wege anweist, bald um sie zu entfernen, bald um sie zu sammeln. Nicht nur versteht er, die Glasröhre nach Belieben zu zerschneiden und zu biegen, sondern auch vor der Lampe des Glasbläsertisches dieselbe zu erweichen und aufzublasen zu allerlei sinnreich erdachten Formen, deren Fig. 4, 7, 8 uns mehrere zeigen.

Aber der zerbrechlichen Natur des Glases verfallen

zahlreiche Opfer, besonders durch die Hände der Anfänger. Es herrscht da ein beständiger Consum und Ersatz.

Nächst Glas ist Porzellan am häufigsten vertreten, meist in der einfachen Form wenig vertiefter sogenannter Abdampfschalen. Aber es ist vom feinsten Porzellan; es klingt wie Metall und ist so sorgfältig gekühlt, daß es vom Chemiker unbedenklich auf freies Feuer gesetzt wird. Dann finden sich noch kleine Tiegel von Porzellan, sowie Röhren für heftige Glühversuche.

Das bescheidenste Material ist aber der Kork, und doch so wichtig. Man hat Chemiker ersten Ranges in einen gelinden Enthusiasmus ausbrechen gesehen beim Anblick eines ganz untadeligen, zarten, dichten, porenfreien Korkstöpsels. Denn der Kork ist zugleich Schließe- und Verbindungsmittel der chemischen Apparate, und man wolle nur seine Verwendung in Taf. 2 und 3, Fig. 23 und 18 betrachten, um eine Vorstellung seiner Bedeutung zu gewinnen. Zu seiner Zurichtung hat der Chemiker die Korkpresse, um ihn möglichst weich und elastisch zu machen, das überaus scharfe Korkmesser zum Zurechtschneiden, den Korkbohrer und die Rundfeile, auch Rattenschwanz genannt, zum Dorchbohren desselben.

Aber ein gefährlicher Concurrent ist dem Kork entstanden im Kautschuk, seitdem es gelungen ist, denselben durch einen Zusatz von Schwefel zu „vulkanisiren", wodurch er beliebige Grade der Härte und Elasticität und zwar bei jeder Temperatur anzunehmen vermag. In der That spielt die Kautschukröhre eine wichtige Rolle in der Geschichte der Experimentalchemie. Sie verbindet auf das leichteste und zuverlässigste Röhre mit Röhre (Taf. 2, Fig. 21) und Flasche mit Flasche (Taf. 3, Fig. 10, 11). Vor dem Kork hat die Kautschukverbindung den großen Vorzug, daß sie Beweglichkeit gestattet und somit die Gefahr des Zerbrechens mühsam aufgestellter Apparate beträchtlich vermindert. Außerdem wird Kautschuk noch verwendet in Gestalt von Stöpseln, Ballons für Saug- und Spritzflaschen und zu sehr praktischen Klemmen oder Sperrvorrichtungen, Fig. 2, die von ihrem Erfinder den graziösen Namen Quetschhahn erhalten haben.

Glas, Porzellan, Kork und Kautschuk — das sind wirklich die Grundelemente der chemischen Experimentirkunst, und neun Zehntel aller chemischen Operationen, der feinsten Art, die zu den hervorragendsten Entdeckungen geführt haben, sind mit Apparaten aus diesen einfachen Hülfsmitteln ausgeführt worden, denen in zweckmäßiger Zusammenstellung das Prädicat der Eleganz nicht vorenthalten werden kann.

Nur beiläufig wird ein kostbareres Material in Anspruch genommen, wie in erster Linie das Platin, weil es in den gewöhnlichen höchsten Hitzegraden unschmelzbar ist und nur von wenig Substanzen angegriffen wird. Daher verwendet man Tiegel von Platin, besonders bei analytischen Arbeiten zu Glühversuchen; ferner dienen zum Verdampfen Bleche und Schalen von Platin, und zu verschiedenen Zwecken Platindraht und Platinschwamm.

Auch Silber wird in Gestalt von Schalen oder kleinen Kesseln gebraucht bei Arbeiten, die mit ätzenden Alkalien sich befassen, durch welche Platin, Glas und Porzellan angegriffen werden. In manchen Fällen leisten jedoch blanke eiserne Geräthe gleich guten Dienst.

Quecksilber braucht der Chemiker, wenn er mit Gasen hantirt, die in Wasser löslich sind — was beiläufig gesagt bei allen mehr oder weniger der Fall ist. In Taf. 2, Fig. 21 sind die ganze Kufe und die kleine Glocke B mit Quecksilber gefüllt.

Endlich, herabsteigend zu den unedeln Metallen, hat doch auch das Blei gewisse, dem Chemiker werthvolle Eigenschaften; es widersteht insbesondere dem Angriff der Verbindungen des Fluors, und Bleigeräthe dienen daher zu Darstellung und Aufbewahrung der Fluorwasserstoffsäure (Flußsäure), und Bleiröhren sind die unersetzlichen Leitungsröhren für das Leuchtgas.

Da hier und da noch allerlei mechanische Arbeiten vorkommen, die der Chemiker theils an den Stoffen, theils an seinen Apparaten vorzunehmen hat, so fehlt es in seiner Werkstätte nicht an Mörsern und Reibschalen von Eisen, Porzellan, Stahl und Achat, an Hammer, Amboß und Zange, an Säge und Feile, ja auch eine Drehbank mag sich vorfinden zu Schleif- und Bohrarbeiten, und Blasbälge in verschiedenen Dimensionen zur Belebung der Glut bei Kohlenfeuerung u. s. w.

Nach dieser Vorbetrachtung gehen wir nunmehr an der Hand unsers Atlas über zur Schilderung einiger Apparate, und beginnen mit solchen, die zu chemischen Operationen im Allgemeinen dienen, z. B. Heizapparate, während die in ganz besonderen Fällen verwendeten erst dann besprochen werden, wenn von den Stoffen die Rede ist, die ihre Zuziehung erfordern.

1. Heizapparate.

Die Wärme ist ein chemisches Hauptagens, in allen Abstufungen, vom gelinden Wasserbad bis zur höchsten Weißglühhitze. Die Alten hatten ganze Arsenale von Oefen; die allgemeine Verbreitung des Leuchtgases hat hierin eine große Vereinfachung herbeigeführt.

In Taf. 2, Fig. 1 erblicken wir den sogenannten Universalofen für Kohlenheizung. Derselbe ist von starkem Eisenblech, innen mit einem Beschlag von Thon ausgefüttert, etwa 0,5 Meter hoch. Oben ist bei b die Thüre zur Feuerung, unten die Thüre a zur Regulirung des Luftzutritts. Die Daumen d dienen zum Aufsetzen der Kochgeschirre.

Soll dieser Ofen zur Destillation benutzt werden, so wird der Ring Fig. 2 aufgesetzt und in diesen die Kapelle Fig. 3 gehängt. Letztere ist ein kleiner Kessel mit halbrundem Ausschnitt am Rande, zur Aufnahme des Retortenhalses, wie aus Fig. 12 ersichtlich, die einen ganz ähnlichen, aber feststehenden Ofen aus Mauerwerk darstellt. In die Kapelle wird etwa ein Finger hoch Sand gebracht, die Retorte eingesetzt und der verbleibende Zwischenraum mit Sand ausgefüllt. Man nennt eine solche Vorrichtung ein Sandbad.

Zu Glüh- und Schmelzarbeiten in größerm Maßstabe dient der Schmelzofen, Fig. 11, im Durchschnitt abgebildet. Auf die Roststäbe, die hier im Querschnitt erscheinen, wird der Tiegel mit der Schmelzmasse gestellt, ringsum Holzkohle geschüttet und die Feuerthüre geschlossen. Die Stärke des Zugs und der entstehende Hitzgrad hängt von der Höhe des seitwärts mit dem Glühraum verbundenen Kamins ab. Zur Erzeugung der stärksten Weißglühhitze benutzt man eine unter dem Namen des Sefström'schen Ofens bekannte Vorrichtung, Fig. 13. Dieselbe besteht aus einem Cylinder von starkem Eisenblech, welcher unten eine Düse, d. i. Mundstück zum Einblasen von Luft durch einen Blasbalg hat. In den obern Rand des Cylinders wird ein großer Graphittiegel eingehängt, in welchen, zwei Zoll über seinem Boden, 8 kleine Löcher eingebohrt worden sind. Diesen gegenüber, auf einen Untersatz, wird der von glühenden Kohlen umgebene Tiegel gestellt, der die zu schmelzende Masse enthält. Man wählt hierzu einen der sogenannten hessischen Tiegel, die in Groß-Almerode aus unschmelzbarem Thon gefertigt werden.

Es gelingt, in demselben die schwerst schmelzbaren Metalle, wie Mangan, Chrom, Kobalt und Nickel zu schmelzen. Der Sefström'sche Ofen wird jedoch übertroffen und ersetzt durch die Wirkung der Flamme, welche entsteht, wenn in gewöhnliches Leuchtgas ein Strom von Sauerstoff eingeblasen wird. Dieselbe schmilzt Platin mit Leichtigkeit und bringt Silber zum Kochen, sodaß es in Gestalt blauer Dämpfe überdestillirt. Die hierbei verwendeten Schmelztiegel werden aus gebranntem Kalk geschnitten.

Zu Erhitzungen geringen Grades und Umfangs dient die Spirituslampe, Fig. 4. Sie ist meist von Glas, das stets elegant bleibt und leicht den Stand des Brennmaterials erkennen läßt. Ein Baumwolldocht saugt den Weingeist auf, dessen Verdunstung nach gemachtem Gebrauch durch ein aufgesetztes Hütchen verhindert wird. Eine Spirituslampe von starker Heizkraft, die insbesondere zu den Glühversuchen bei Analysen vorzügliche Dienste leistet, ist die Berzelius'sche Lampe mit doppeltem Luftzug, Taf. 2, Fig. 5 und Taf. 3, Fig. 13, 15, 16. Sie besteht nach dem Argand'schen Princip aus einem Rundbrenner und wird aus einem Weingeistbehälter gespeist, der au niveau mit der Lampe communicirt oder, was gewöhnlicher ist, sie in Gestalt eines Ringes umgibt. Dieselbe ist jedoch seit der allgemeinen Verbreitung des Gases mehr und mehr außer Gebrauch gekommen, insbesondere seit Bunsen den nach ihm benannten Gasbrenner, Taf. 2, Fig. 9, construirt hat, durch welchen der Gasflamme der Rauch benommen und eine außerordentliche Heizkraft verliehen worden ist. Dies beruht darauf, daß dem Leuchtgas Luft beigemengt wird, bevor es zum Verbrennen gelangt. Zu diesem Zweck tritt durch seitliche Oeffnungen in den Fuß des Brenners, Fig. 6, Luft ein, mischt sich in dem aufgeschraubten Brandrohr, Fig. 7, mit dem Gas, und wird dann angezündet. Die Verbrennung geschieht hierdurch so vollständig, daß eine fast farblose Flamme entsteht, die daher auch zur Spectralanalyse verwendet wird. Sie ist zugleich so heiß, daß ohne Gefahr Glasgefäße derselben nicht ausgesetzt werden können. Es genügt jedoch, dem Glas ein Drahtnetz als Unterlage zu geben, um die Hitze geeignet zu mäßigen. Schiebt man in das Brandrohr der Bunsen'schen Lampe den Einsatz, Fig. 8, so werden die Luftlöcher geschlossen und man erhält an der spaltförmigen Oeffnung eine schmale, leuchtende und rußende Flamme, welche zu Reductionsversuchen am Löthrohr geeignet ist.

2. Trockenapparate.

Heizapparate besonderer Art sind die Trockenapparate. Sie dienen hauptsächlich, um Stoffe, die der quantitativen Analyse unterworfen werden sollen, bei einer bestimmten Temperatur von allem hygroskopischen Wasser zu befreien, mitunter auch, um selbst chemisch gebundenes Krystallwasser zu entfernen. Eine sehr einfache Vorrichtung der Art zeigt Fig. 14 auf Taf. 2, ein Kasten von Kupferblech mit doppelter Wandung, der durch b mit Oel gefüllt und auf einen Herd oder Ofen, oder über ein Feuer gestellt wird. Ein bei a eingesetzter Thermometer zeigt die Temperatur an. In den innern Hohlraum c bringt man die zu trocknende Substanz und schließt das mit den Abzugslöchern g und h versehene Thürchen. Ganz ähnlicher Art ist die Trockenbüchse, Fig. 16, in welche man das Schälchen mit der Substanz einstellt und den Deckel mit dem Thermometer aufsetzt. Man kann dann die Büchse einer beliebigen Wärmequelle aussetzen. Durch die Oeffnung B entweicht die Feuchtigkeit.

Das ganz einfache Wasserbad besteht aus einer Porzellanschale mit innerm Rand, Fig. 17; sie wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt und in den Ring eine Schale gesetzt, welche den einzudampfenden oder einzutrocknenden Gegenstand enthält, der in diesem Falle nie über 100 Grad erhitzt wird. Bezweckt man die Anwendung höherer Temperatur, so bedient man sich ganz ähnlicher Metallgefäße, die Oel enthalten (Oelbad). Manche Stoffe zersetzen sich bei der geringsten Erwärmung, und man kann ihnen nur dadurch Wasser entziehen, sie austrocknen, daß sie in einer Schale d, Fig. 15, auf ein Gefäß mit Schwefelsäure c gesetzt werden, worauf man das Ganze mit einer Glasglocke b bedeckt. Die Schwefelsäure saugt alsdann begierig das verdunstende Wasser auf.

Von mehr zusammengesetzter Art ist der Apparat Fig. 18, dessen man sich zum Austrocknen der Stoffe bedient, die der organischen Analyse unterworfen werden sollen. Der eigentliche, aus Glas bestehende Trockenbehälter c steht nach links mit einem Kolben a, der Schwefelsäure enthält, nach rechts mit einem Wassergefäß d von ziemlichem Umfang in Verbindung. Er wird erhitzt, indem man ihn in das unten abgebildete Kesselchen einsetzt, das Wasser enthält und das man sich über einer Lampe stehend zu denken hat. Sein Deckel hat beiderseits passende Ausschnitte für die nach oben gehenden Schenkel der Trockenröhre c. Sobald man durch den Hahn e Wasser ausfließen läßt, entsteht eine Luftbewegung durch den ganzen Apparat, indem durch das Rohr b Luft eintritt, die durch die Schwefelsäure gehend ihre Feuchtigkeit abgibt und über die in c befindliche Substanz hinstreicht und dieselbe austrocknet. Von Zeit zu Zeit löst man den Trockenapparat c bei g und f aus und wiegt ihn. Läßt derselbe keine weitere Abnahme an Gewicht erkennen, so ist die darin enthaltene Substanz vollkommen trocken.

3. Hülfsapparate.

Noch begegnen wir im Laboratorium Hülfsapparaten verschiedener Art. Ein solcher ist Taf. 2, Fig. 10 abgebildet und kann mit seinen verschiedenen Armen ein Universalträger genannt werden. Der Fuß a a dieses theils aus Holz, theils aus Eisen gefertigten Gestells ist gewöhnlich mit einer Porzellanplatte A bedeckt, die stets reinlich gehalten werden kann. Der Ring des untersten Armes b dient zum Aufsetzen von Abdampfschalen über eine Spirituslampe, oder eines Trichters beim Filtriren; zwischen die Zacken des folgenden c wird ein Tiegel bei Glühversuchen eingehängt; zum Aufsetzen kleiner Schalen, Retorten, Kölbchen dienen Dreifüße von verschiedener Größe, die bei d eingeklemmt werden. Die oberste Vorrichtung endlich ist ein sogenannter Retortenhalter. In seine mit Kork gefütterten Arme n n, welche durch die Schrauben i und l geschlossen und geöffnet werden können, wird je nach Bedarf der Hals einer Retorte oder einer Glasröhre u. s. w. eingeklemmt. Durch die Schraube f kann der Halter sowol in jeder Höhe als auch in horizontaler Richtung nach Bedürfniß festgestellt werden; derselbe ist ferner um seine Achse h, zu der die Schraube g gehört, drehbar, und diese dreifache Beweglichkeit macht es möglich, diese dienstbare Hand in jeder beliebigen Lage festzustellen und zu verwenden. In der Praxis findet man jedoch diese vier verschiedenen Vorrichtungen auf mehrere Gestelle vertheilt.

Fig. 22 zeigt ein hölzernes Filtrirgestell einfachster Art. Die Filtration ist eine der häufigsten chemischen Operationen und bezweckt die Trennung einer Flüssigkeit von den in ihr schwebenden festen Körpertheilchen. Es geschieht dies, indem man dieselbe

auf ein sogenanntes Filter gießt, ein konisch gefaltetes Fließpapier, das in einen Glastrichter paßt und aus dessen Spitze die durchgeseihte, oder wie man sagt filtrirte Flüssigkeit vollkommen klar abtropft. Auf dem Filter verbleiben die festen Theile, entweder als werthloser Rückstand, oder dieselben bilden die Hauptsache, wie z. B. in chemischen Analysen, wenn Stoffe als Niederschläge ausgeschieden worden sind und alsdann gesammelt und genau gewogen werden sollen. In diesem Falle muß der auf dem Filter befindliche Rückstand vor dem Trocknen sorgfältig ausgewaschen werden. Dies geschieht durch öfteres Aufgießen von reinem Wasser, und hierzu findet meist die Spritzflasche Verwendung. Dieselbe hat entweder wie Fig. 25 die Einrichtung des aus der Physik bekannten Heronballs und besteht aus einer kleinen, mit Wasser halb gefüllten Flasche, in welche eine Glasröhre eingepaßt ist, durch die in angegebener Haltung stark Luft eingeblasen wird. Sobald dies aufhört, treibt die innerhalb verdichtete Luft einen kräftigen Wasserstrahl aus dem Spritzrohr. Bequemer ist jedoch die in Fig. 24 abgebildete Spritzflasche, deren Spritzröhre unter Wasser bis fast zum Boden reicht, während die Luft durch ein zweites kurzes Mundstück, eingeblasen wird und den Wasserstrahl heraustreibt. Damit man erforderlichenfalls auch siedendes Wasser verwenden kann, ist eine aus Draht gefertigte Handhabe angebracht.

4. Destillirapparate.

Von den Destillirapparaten, diesem Hauptschmuck und Wunderwerk der alten Laboratorien, ist in den modernen nur weniges zu sehen. Alle Arbeiten, die massenhafte Destillationen erfordern, werden der betreffenden Industrie überlassen, wie dies später gezeigt wird. Die einfachste Destillirvorrichtung besteht aus der Retorte, die in der bereits beschriebenen Sandkapelle, Taf. 2, Fig. 12, sitzt und ihren Hals in den des vorliegenden Kolbens einführt, der bestimmt ist, das Product der Destillation, Destillat genannt, aufzunehmen. Ein solcher Apparat ist jedoch nur verwendbar bei Flüssigkeiten, die, wie z. B. Salpetersäure oder Schwefelsäure, eine geringe Flüchtigkeit besitzen, sodaß es zur Verdichtung ihrer Dämpfe genügt, den Kolben in eine Schüssel mit öfter erneuertem Wasser oder Schnee zu legen.

Handelt es sich aber darum, sehr flüchtige Flüssigkeiten, wozu wir Weingeist und Aether rechnen, der Destillation zu unterwerfen, so bedient man sich des Liebig'schen Destillirapparats, Fig. 23. Die Retorte b sitzt auf einem Ofen, mit aufwärts gerichtetem Halse, aus welchem daher nur Dampf durch ein Verbindungsstück i in eine ziemlich lange und weite Glasröhre aa entweichen kann. Dieselbe dient als Condensator, d. h. zur Verdichtung des Dampfes zu Flüssigkeit, und ist zu diesem Zweck vermittels zweier Korke in ein weiteres Blechrohr eingefügt, in welches aus einem Behälter durch ein Zuleitungsrohr e beständig kaltes Wasser einfließt, während das warm gewordene durch f abfließt. Das Destillat gelangt durch den Schnabel b' in das zur Aufnahme dienende kleine Kölbchen. Dieser ausgezeichnete Apparat gestattet bei jeder Temperatur die Destillation selbst der flüchtigsten Stoffe ohne jeden Verlust.

5. Analytische Apparate.

Wir verlassen nunmehr das Gebiet der allgemein verwendbaren chemischen Apparate, um unsere Betrachtungen einigen andern zuzuwenden, die in ganz besondern Fällen der chemischen Analyse Anwendung finden und die gewählt worden sind, um einen Einblick in die mancherlei Combinationen zu gestatten, welche durch die verschiedenen Eigenschaften der Körper hervorgerufen werden, deren Menge einer genauen Ermittelung unterworfen werden soll.

Da sehen wir zuerst auf Taf. 2, Fig. 19 einen Apparat zur Bestimmung von Kohlensäure, ein Meisterstück der Glasbläserkunst. Beispielsweise soll aufs genaueste ermittelt werden, wie viel Kohlensäure in einer abgewogenen Menge von doppeltkohlensaurem Natron enthalten ist. Man bringt dieses in den kleinen Kolben A und fügt etwas Wasser hinzu, worin es sich auflöst. Der mit verdünnter Salpetersäure gefüllte Einsatz C paßt luftdicht in die Oeffnung a des Kolbens; nachdem er in dieselbe eingefügt worden ist, füllt man den Schenkel B zur Hälfte mit Schwefelsäure und verschließt die Röhre b oben mit etwas Wachs. Die ganze Vorrichtung wird nunmehr gewogen, worauf man die Röhre b durch den Kork i ein wenig in die Höhe dreht, sodaß die Spitze des Einsatzes bei c geöffnet wird und Salpetersäure in den Kolben fließt. Hierdurch wird das kohlensaure Natron zersetzt; die Kohlensäure wird frei und nimmt, der gekrümmten Röhre h folgend, den Weg durch die in B befindliche Schwefelsäure, die ihr alle Feuchtigkeit entzieht, und entweicht endlich aus d. Durch Kochen des Kolbeninhalts sowie durch Saugen bei d, nachdem man das Wachs von der Mündung der Röhre b hinweggenommen hat, wird alle Kohlensäure aus dem Apparat entfernt, der nunmehr wieder gewogen wird. Die Abnahme seines Gewichts entspricht dem Gewicht der entwichenen Kohlensäure.

Eine der schwierigsten Aufgaben ist unter Umständen die genaue quantitative Bestimmung der Salpetersäure. Wir versuchen eine für diesen Zweck zwar verwickelte Methode zu beschreiben, die sich aber unter andern bei der Untersuchung des Salpetergehalts im Tabak bewährt hat. Dieselbe beruht auf dem Princip, daß Salpetersäure beim Erhitzen mit Eisenchlorür in Stickoxydgas verwandelt und daß letzteres, mit Sauerstoff zusammengebracht, wieder in Salpetersäure zurückgeführt wird. Zur Ausführung der Operation bringt man das gelöste salpetersaure Salz in den Ballon A, Fig. 21, der durch ein Kautschukrohr mit einer Glasröhre bb, hier punktirt, verbunden ist, an deren Ende wieder eine Kautschukröhre cc befestigt ist. Nachdem durch Kochen des Inhalts von A alle Luft ausgetrieben ist, taucht man c in eine Lösung von Eisenchlorür in Salzsäure, worauf diese in den Ballon steigt. Man verschließt das Kautschukrohr c mit einer Klemme von Eisendraht und führt es in der mit Quecksilber gefüllten Wanne unter die kleine, ebenfalls mit Quecksilber gefüllte Glasglocke B. Man setzt jetzt die Lampe wieder unter A und bewirkt hierdurch die Zersetzung der Salpetersäure in Stickoxydgas, nach deren Vollendung die Klemme am Ende der Kautschukröhre c geöffnet und das Stickoxydgas in die Glocke B geleitet wird. Ein wenig Kalkmilch, die man in dieselbe steigen läßt, dient, um etwa beigemengte saure Dämpfe zu entfernen. Es handelt sich nunmehr darum, das Gas in den Ballon C überzuführen; derselbe enthält etwas Wasser, welches man längere Zeit kochen läßt, damit alle Luft ausgetrieben wird, worauf man das Ende der Kautschukröhre f über die dünne Spitze der Glocke B zieht und nachher die Spitze abbricht. Sofort steigt das Stickoxydgas in den luftleeren Ballon C. Die große Glocke D enthält Sauerstoff, der nach C hinübertritt, sobald die Kautschukröhre f an h gefügt und der Hahn r geöffnet wird. In Berührung mit Sauerstoff wird das Stickoxyd in Salpetersäure verwandelt, die in Wasser gelöst im Ballon C sich befindet und deren

Menge man aus dem Verbrauch einer ganz verdünnten Natronlauge von bekanntem Gehalt findet, die zur Sättigung erforderlich ist.

Eine analytische Methode ganz besonderer Art ist die *Maßanalyse* oder *Titrirmethode*. Sie bezweckt hauptsächlich, auf eine leichte und rasche Weise den Gehalt einer Flüssigkeit an der in ihr gelösten Substanz zu ermitteln, insbesondere in der chemischen Technik, wo Fälle derart häufig vorkommen. Als Beispiel führen wir eine Seifensiederei an, wo täglich die Frage nach dem Natron- oder Kaligehalt einer Lauge sich einstellt, oder eine Münze, wo es sich ebenso oft darum handelt, den Silbergehalt des ein- und ausgehenden Silbers genau zu bestimmen. Wählen wir den letztern Fall als Beispiel zur Beschreibung der Methode. Alles im Verkehr befindliche Silber ist eine Legirung von Kupfer und Silber; der Gehalt an letzterm bestimmt seinen Werth. Eine genau abgewogene Probe des zu untersuchenden Silbers wird in reiner Salpetersäure aufgelöst; die entstandene Lösung enthält salpetersaures Silberoxyd und salpetersaures Kupferoxyd, welch letzteres ihr eine blaue Färbung ertheilt. Wird zu dieser Flüssigkeit eine Auflösung von Chlornatrium (Kochsalz) gebracht, so entsteht eine unlösliche Verbindung von Chlor mit Silber, *Chlorsilber* genannt, welche sich außerordentlich rasch in Gestalt von weißen Flocken abscheidet, wenn die Flüssigkeit stark geschüttelt wird. Fährt man mit dem Zusatz von Chlornatrium fort, so gelingt es bald, alles Silber auszuscheiden, während sämmtliches Kupfer gelöst bleibt. Man sieht ein, daß hierzu um so mehr Chlornatriumlösung verbraucht wird, je mehr Silber vorhanden war. Aus dem Gesetz der chemischen Verbindungsverhältnisse hat man berechnet, daß eine Lösung von 0,5416 Gramm Chlornatrium in 100 Kubikcentimeter Wasser genau 1 Gramm Silber niederschlägt. Man nennt diesen Gehalt der Salzlösung ihren *Titer*. Verbraucht man beispielsweise von dieser titrirten Flüssigkeit zum Ausfällen des Silbers aus obiger Probe 85 Kubikcentimeter, so enthielt dieselbe 0,85 Gramm Silber, was dem Silbergehalt eines süddeutschen Sechsers entspricht.

Da es leicht ist, eine solche titrirte Kochsalzlösung in Menge vorräthig zu halten, so bedarf es, um nach dieser Methode eine Silbergehaltsbestimmung vorzunehmen, nur der einzigen Abwägung der genommenen Probe. Wollte man dagegen das ausgeschiedene Chlorsilber wägen und daraus den Silbergehalt erfahren, so müßte dasselbe vorher auf einem Filter gesammelt, auf das sorgfältigste ausgewaschen und getrocknet werden, Operationen, die nicht nur sehr zeitraubend sind, sondern auch die Möglichkeit dabei vorkommender Fehler vermehren.

Auf Taf. 3 begegnen wir nun den einfachen Apparaten, die bei der Maßanalyse verwendet werden und welche bezwecken, die titrirte Flüssigkeit höchst genau, in beliebig kleinen Portionen, selbst Tropfen für Tropfen, der Probe zugeben zu können. Fig. 1 ist eine *Pipette* von 10 Kubikcentimeter Inhalt; sie wird durch Eintauchen in die titrirte Flüssigkeit gefüllt, hierauf ihre obere Oeffnung mit dem Zeigefinger verschlossen, durch dessen Lüften und Andrücken man nachher das Ausfließen des Inhalts regulirt. Am bequemsten sind die Fig. 2 abgebildeten, mit Sperrhahn versehenen *Titrirröhren* nach *Mohr*. Am untern Ende befindet sich ein durch eine Klemme von elastischem Messingdraht geschlossenes Kautschukrohr. Drückt man die beiden Knöpfe derselben gegeneinander, so öffnet sich die Sperrung, und die Flüssigkeit fließt ab; beim Nachlaß des Drucks schließt sie sich wieder. Durch diese Vorrichtung ist die **Bürette** von *Gay-Lussac*, Fig. 3, fast gänzlich verdrängt worden; sie heißt auch *Tropfglas*, weil beim Neigen derselben die darin enthaltene Flüssigkeit nur tropfenweise ausfließt. Wie die Abbildungen andeuten, sind diese Röhren auf das sorgfältigste graduirt oder eingetheilt in Kubikcentimeter und Zehntel derselben, sodaß selbst sehr kleine Mengen der verbrauchten Flüssigkeit abgelesen und z. B. bei Silberproben ein Milligramm genau bestimmt und $^1/_2$ Milligramm noch leicht abgeschätzt werden kann.

Epochemachend für die Entwickelung der organischen Chemie war die Ausbildung der *organischen Analyse* durch *Liebig* in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts. Die Verbindungen der unorganischen Chemie bestehen in der Regel aus zwei bis drei, seltener aus vier bis sechs Elementen. Während jedoch an denselben sämmtliche 63 Elemente sich betheiligen und hierdurch ihre verschiedenen Eigenschaften leicht erklärlich erscheinen, sind die zahlreichen organischen Stoffe meist nur aus dreierlei Elementen zusammengesetzt, nämlich aus *Kohlenstoff*, *Wasserstoff*, *Sauerstoff*. Eine geringe Zahl derselben enthält noch als vierten Bestandtheil *Stickstoff*. In der That bilden die drei erstgenannten Elemente den Zucker, den Weingeist, die Citronensäure, das Stearin — Körper von den widersprechendsten Eigenschaften. Diese Verschiedenheit kann daher nicht in der Qualität, sondern nur in der relativen Quantität ihrer Elemente bestehen. Die Bestimmung dieser Gewichtsmengen bot jedoch große Schwierigkeit. Man kann nicht z. B. eine gewogene Menge von Zucker in Wasser auflösen und nunmehr den Kohlenstoff oder ein anderes seiner Elemente als unlöslichen Niederschlag ausscheiden, wie dies oben mit dem Silber geschehen ist. Mit Ausnahme des Stickstoffs läßt sich aus den organischen Verbindungen keins ihrer Elemente direct und für sich trennen. Die Analyse mußte daher einen andern Weg aufsuchen, und dieser war dadurch vorgezeichnet, daß diese Stoffe sämmtlich und vollständig verbrennbar sind und in diesem Falle Kohlensäure und Wasser liefern. Die Aufgabe war, diese Producte getrennt aufzusammeln, und dieselbe ist durch die Methode, welche wir mit Hülfe der Abbildungen auf Taf. 3 beschreiben wollen, vollständig gelöst.

Als Beispiel nehmen wir an, daß ermittelt werden soll: aus wie viel Gewichtstheilen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff eine abgewogene Menge reinsten Zuckers besteht. Hierzu sind 0,5 Gramm desselben genügend. Es ist unmöglich, diesen Zucker in freier Luft oder in Sauerstoff vollständig zu verbrennen und die entstandenen Producte aufzusammeln. Wenn man aber den Zucker fein zerreibt und mit recht viel Kupferoxyd vermischt in einer langen Glasröhre AA, Fig. 6, der Glühhitze aussetzt, so gibt das Kupferoxyd seinen Sauerstoff ab, der Zucker verbrennt vollständig zu Wasser und Kohlensäure, welche aus dem offenen vordern Ende der sogenannten *Verbrennungsröhre* entweichen. An dieses ist die gewogene *Chlorcalciumröhre* (Fig. 7) luftdicht angefügt; sie ist gefüllt mit kleinen Stücken von Chlorcalcium, einem Körper, der jede Spur des hindurchstreichenden Wasserdampfs aufsaugt und festhält, dagegen die Kohlensäure passiren läßt. Diese tritt in den gewogenen *Kaliapparat*, Fig. 4, der aus einem System kleiner hohler Glaskugeln besteht und zum Theil gefüllt ist mit Kalilauge, von der die Kohlensäure vollständig absorbirt wird. Sobald die Verbrennung vollendet ist, bricht man die am hintern Ende der Verbrennungsröhre befindliche Spitze ab, sodaß Luft eintreten und

sämmtliche im Apparat noch vorhandene Kohlensäure sowie den Wasserdampf verdrängen kann. Die Apparate werden nunmehr abgenommen und gewogen; aus ihrer Gewichtszunahme erfahren wir die Mengen des aus dem Zucker entstandenen Wassers und der Kohlensäure, und da die Zusammensetzung dieser Verbindungen bekannt ist (100 Wasser = 12 Wasserstoff + 88 Sauerstoff; 100 Kohlensäure = 27 Kohlenstoff + 73 Sauerstoff), so läßt sich leicht berechnen, wie viel Kohlenstoff und Wasserstoff der Zucker enthält. Zieht man die Summe der Gewichte dieser beiden Elemente ab von dem Gewicht des zur Analyse verwendeten Zuckers (0,5 Gramm), so ergibt sich das Gewicht des in demselben enthaltenen dritten Elements, des Sauerstoffs. Auf diese Weise ist ermittelt worden, daß der Zucker besteht aus

42	Procenten	Kohlenstoff
6,5	»	Wasserstoff
51,5	»	Sauerstoff
100,0	Gewichtstheile	Zucker.

Wir sehen in Fig. 5 die Aufstellung des Apparats für die organische Analyse, dessen man sich bedient, wenn die Verbrennungsröhre a durch Holzkohlen erhitzt wird; dieselbe liegt alsdann in einem rostartigen Ofen und wird mit glühenden Kohlen umgeben. In neuerer Zeit geschieht die Verbrennung meist vermittels der Gasflamme, Fig. 6. Eine Reihe von Brennern befindet sich unter der Verbrennungsröhre, sodaß mit Anzündung der vordern begonnen und allmählich nach der Spitze zu fortgeschritten werden kann.

Wenn eine organische Verbindung außer den obengenannten drei Elementen noch Stickstoff enthält, was z. B. bei den bekannten wichtigen Arzneistoffen, bei dem Chinin und Morphin, der Fall ist, so geschieht die Verbrennung derselben der Hauptsache nach, wie oben beschrieben worden ist; nur wird ein längeres Verbrennungsrohr genommen und in dessen vordern Theil eine Spirale von blankem Kupferdraht gelegt. In diesem Falle entweicht der Stickstoff, während Wasser und Kohlensäure aufgenommen und gewogen werden.

Zur Bestimmung des Stickstoffs wird eine andere Portion desselben Stoffs verwendet und dabei Gebrauch gemacht von der Erfahrung, daß aller Stickstoff einer organischen Verbindung in gasförmiges Ammoniak (= 3 Wasserstoff + 14 Stickstoff), übergeführt wird, wenn man dieselbe mit ätzendem Kalk, Kali oder Natron der Glühhitze aussetzt. Man wiegt daher eine kleine Menge des stickstoffhaltigen Körpers ab, vermischt ihn mit einem Gemenge von Aetzkalk und Aetznatron und füllt damit eine Verbrennungsröhre d, welche in dem Ofen Fig. 8 erhitzt wird. Das entweichende Ammoniak tritt in einen Kugelapparat a, der wässerige Chlorwasserstoffsäure enthält, und verbindet sich mit dieser zu Chlorammonium (sogenanntem Salmiak). Nach Vollendung der Operation wird der Kugelapparat abgenommen, sein Inhalt in eine gewogene Porzellanschale entleert und vorsichtig so lange eine Auflösung von Chlorplatin hinzugefügt, als noch ein hellgelber Niederschlag entsteht. Letzterer heißt Platinsalmiak und ist eine Verbindung von Chlorammonium mit Chlorplatin (= 14 Stickstoff + 4 Wasserstoff + 106 Chlor + 99 Platin). Man setzt nun die Porzellanschale auf ein Feuer; zuerst verdampft das vorhandene Wasser, der Niederschlag wird trocken und zersetzt sich endlich bei gelinder Glühhitze vollständig, sodaß nur metallisches Platin in der Porzellanschale zurückbleibt, dessen Gewicht man durch abermalige Wägung derselben erfährt. Da man aus der oben angegebenen Zusammensetzung des Platinsalmiaks weiß, daß auf je 99 Gewichtstheile Platin 14 Gewichtstheile Stickstoff kommen, so läßt sich aus dem gefundenen Gewicht des Platins leicht berechnen, wie viel Stickstoff ursprünglich in der analysirten organischen Verbindung gewesen ist. Man berechnet nunmehr aus den beiden ausgeführten Analysen den Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff auf Procente, und das, was an 100 fehlt, ist gleich dem Gewicht des Sauerstoffgehalts der Verbindung. Als Ergebniß dieser analytischen Arbeiten wissen wir, daß das Chinin folgende Zusammensetzung hat:

74,4	Procente	Kohlenstoff
7,3	»	Wasserstoff
8,6	»	Sauerstoff
9,7	»	Stickstoff
100,0	Gewichtstheile	Chinin.

Den Schluß unserer Besprechung analytischer Apparate und Methoden bildet die Betrachtung der wichtigsten aller: der Wage und der Wägung. Indem wir hierbei auf Taf. 2, Fig. 20, hinweisen, befinden wir uns einem ebenso eleganten als brillanten Instrument gegenüber. Von seiner Wage spricht der Chemiker nur mit einer gewissen salbungsvollen Verehrung; er weist ihr ein besonderes, lediglich ihr geweihtes Wagzimmer an, und es ist der Ausdruck der höchsten Gunst, die der chemische Professor gewähren kann, wenn er einem seiner Adepten gestattet, der Wage zu nahen, der er sich selbst bedient.

Verschiedene Ursachen machen es nothwendig, bei der quantitativen Analyse nur mit geringen Mengen der zu untersuchenden Verbindungen zu operiren. Häufig ist deren mühsame Gewinnung, ihre Seltenheit und Kostbarkeit Grund genug, um damit sparsam zu verfahren. Allein auch bei Stoffen gewöhnlicher Art lassen sich die chemischen Operationen, wie Auswaschen, Trocknen, Glühen, Schmelzen, Verbrennen u. s. w., bei geringer Menge leichter und vollkommener bewerkstelligen, als wenn dieselbe nur unerheblich mehr beträgt. Das genaue Abwägen kleiner Gewichtsmengen erfordert aber Wagen von höchster Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit, und die Anstrengungen der Mechaniker sind darauf gerichtet, diesen wichtigen Instrumenten den höchsten Grad der Vollkommenheit zu verleihen. Man verlangt in der That, daß ein solches bei einer Belastung von 500 Grammen (= 0,5 Kilo) noch einen deutlichen Ausschlag gibt bei Auflegung von ein viertel Milligramm, d. i. $1/_{4000000}$ Kilo!

Die Mechanik belehrt uns, daß eine Wage um so empfindlicher ist, je länger die Arme des Wagbalkens sind, je leichter derselbe ist und je näher sein Schwerpunkt unter dem Aufhängepunkt liegt. In der Praxis sind hierin jedoch gewisse Grenzen geboten; werden z. B. die Arme sehr verlängert, so müssen sie entsprechend verstärkt werden, damit sie sich nicht biegen.

Unsere Abbildung zeigt eine aus dem Atelier des Mechanikers Bornhardt in Braunschweig hervorgegangene prämiirte Wage von erwähnter Leistungsfähigkeit, zum Preise von 100 Thlrn. In einem Mahagonikasten mit Glaswänden befindet sich eine Marmorplatte. Auf derselben erhebt sich ein hohler Messingcylinder, in welchem die Tragsäule des Wagbalkens auf- und abgeschoben werden kann, durch Umdrehung des außerhalb des Glaskastens befindlichen Schraubenkopfs. Der Wagbalken ist durchbrochen und hat in der Mitte ein Stahlschneide, welche sich auf eine Carneolplatte aufsetzt; ebenso befinden sich Stahlschneiden an seinen beiden Enden, auf welche die Schalengehänge mit Carneolplatten sich aufsetzen. Zur Schonung der Schneiden werden dieselben bei Ver-

schiebung der Tragsäule durch eine gabelförmige Vorrichtung von ihren Unterlagen abgehoben und nur bei jedesmaligem Gebrauch der Wage auf dieselben herabgelassen. Zwei weitere Vorrichtungen beiderseits tragen mit dazu bei, daß die drei Schneiden stets in gleicher Lage sich aufsetzen. Der Wagbalken ist eingetheilt, und es kann ein aufgesetztes Centigrammhäkchen vermittels eines rechts durch die Glaswand gehenden Stabes verschoben werden.

Die mit der Wage vorzunehmenden Gewichtsbestimmungen geschehen immer durch die Methode der *doppelten Wägung*. Der zu wiegende Gegenstand, z. B. ein Kaliapparat, wird auf eine der Wagschalen gelegt oder an einem Häkchen aufgehängt, und auf der andern Wagschale Gewicht bis zur Herstellung des Gleichgewichts aufgelegt; der Apparat wird alsdann hinweggenommen und statt dessen auf die leere Schale Gewicht gelegt, bis wieder Gleichgewicht stattfindet. Sobald man letzterm nahe gekommen ist, wird die Glasthür der Wage geschlossen, um jede Störung durch Wärme und Luftzug entfernt zu halten und die letzte Ausgleichung durch Verschiebung des Centigrammhäkchens auf dem Wagbalken von außen bewerkstelligt.

Die Elemente und ihre Verbindungen.

Elemente, Urstoffe, Grundstoffe oder *einfache Körper* nennt man solche Körper, die sich nicht in verschiedene Stoffe zerlegen noch aus solchen zusammensetzen lassen. Man kennt deren 63, und da erst in den letzten Jahren einige Elemente entdeckt worden sind, so liegt die Möglichkeit nahe, daß ihre Zahl durch spätere Entdeckungen sich noch vermehren werde. Wir besitzen keine absolute Gewißheit dafür, daß die heute als Elemente geltenden Stoffe wirklich unzerlegbar sind; vorerst scheint jedoch keine Aussicht eröffnet, die ihre weitere Zerlegung verspricht.

Die Elemente besitzen eine sehr ungleiche Bedeutung schon deshalb, weil viele derselben, wenigstens in dem uns zugänglichen Bereich der Erde, sehr selten vorkommen. Einige dagegen, wie Sauerstoff, Aluminium, Silicium und Calcium, sind in solcher Masse vorhanden, daß sie zusammen drei Viertel der bekannten Erdrinde ausmachen.

Man theilt die Elemente ein in *Metalloïde* oder Nichtmetalle und in *Metalle*; letztere unterscheiden sich wieder in leichte und in schwerere Metalle.

Aus der Vereinigung von zwei oder mehr Elementen entstehen die chemischen Verbindungen; es gibt nur wenige Verbindungen, welche mehr als vier Elemente enthalten. Das wichtigste Grundgesetz der ganzen Chemie beruht auf der durch die Analyse gewonnenen Erfahrung und lautet: *die Elemente verbinden sich untereinander in bestimmten, unveränderlichen Gewichtsverhältnissen.*

Die Zahl, welche für jedes Element dieses Gewichtsverhältniß bezeichnet, nennt man das *Atomgewicht* des Elements. Jedes Element hat als bequeme Abkürzung seines Namens ein *chemisches Zeichen* erhalten, bestehend aus dem Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens, und bei gleichen Anfangsbuchstaben mit Beifügung eines weitern kleinen Buchstabens. In der nachfolgenden Uebersicht der Elemente sind die 35 wichtigern durch stärkere Schrift ausgezeichnet.

I. Metalloïde.			II. Metalle.					
	Zeichen	Atom-Gewichte	Leichte:	Zeichen	Atom-Gewichte	Schwere:	Zeichen	Atom-Gewichte
Sauerstoff	O.	16	Kalium	K.	39	Eisen	Fe.	56
Wasserstoff	H.	1	Natrium	Na.	23	Mangan	Mn.	55
Stickstoff	N.	14	Lithium	Li.	7	Chrom	Cr.	52
Schwefel	S.	32	Cäsium	Cs.	133	Kobalt	Co.	58
Selen	Se.	79	Rubidium	Rb.	85	Nickel	Ni.	58
Tellur	Te.	128	Barium	Ba.	137	Zink	Zn.	65
Chlor	Cl.	35	Strontium	Sr.	87	Kadmium	Cd.	112
Brom	Br.	80	Calcium	Ca.	40	Indium	In.	37
Jod	J.	127	Magnesium	Mg.	24	Kupfer	Cu.	63
Fluor	Fl.	19	Aluminium	Al.	27	Blei	Pb.	207
Phosphor	P.	31	Beryllium	Be.	9	Thallium	Tl.	204
Arsen	As.	75	Zirkonium	Zr.	89	Zinn	Sn.	118
Kohlenstoff	C.	12	Thorium	Th.	231	Titan	Ti.	50
Bor	B.	11	Cerium	Ce.	92	Tantal	Ta.	182
Silicium	Si.	28	Lanthan	Da.	92	Niobium	Nb.	94
			Didym	Di.	95	Wismuth	Bi.	210
			Yttrium	Y	61	Antimon	Sb.	122
			Erbium	Er.	112	Vanadin	V.	51
						Uran	U.	120
						Wolfram	W.	184
						Molybdän	Mo.	96
						Quecksilber	Hg.	200
						Silber	Ag.	108
						Gold	Au.	197
						Platin	Pl.	197
						Palladium	Pd.	106
						Iridium	Ir.	198
						Osmium	Os.	199
						Rhodium	Rh.	104
						Ruthenium	Ru.	104

Die vorstehenden Zahlen drücken die Gewichte der kleinsten Theilchen der Elemente aus, welche man *Atome* genannt hat und die für sich allein nicht vorkommen, sondern paarweise gruppirt. Eine derartige Atomgruppe heißt ein *Molekül*. Die Moleküle eines Elements enthalten nur einerlei Elemente, während das Molecule einer chemischen Verbindung aus zwei oder mehr verschiedenen Atomen zusammengesetzt ist.

Die chemischen Zeichen bedeuten nicht nur den Namen eines Elements, sondern auch 1 Atom desselben. Folglich ist

H = 1 Atom oder = 1 Gewichtstheil Wasserstoff;
HH = 1 Molekül oder = 2 Gewichtstheilen Wasserstoff;
Cl = 1 Atom oder = 35 Gewichtstheilen Chlor;
ClCl = 1 Molekül oder = 70 Gewichtstheilen Chlor.

Die Molekülargewichte der Elemente sind demnach doppelt so groß als ihre Atomgewichte.

Wenn Moleküle der Elemente sich miteinander chemisch verbinden, so vertauschen die Atome derselben ihren Platz. *Chlor* und *Wasserstoff* verbinden sich

miteinander zu **Chlorwasserstoff** oder **Salzsäuregas**. Dieser Vorgang findet in folgender Weise statt:

1 Molekül Wasserstoff = H H } = H Cl } = 2 Moleküle
1 Molekül Chlor = Cl Cl } = Cl H } = Chlorwasserstoff.

Das Molekülargewicht einer chemischen Verbindung ist gleich der Summe der Atomgewichte ihrer Bestandtheile.

1 Atom Wasserstoff H = 1 und
1 Atom Chlor Cl = 35 verbinden sich
zu 1 Molekül Chlorwasserstoff ClH = 36.

Außer dem eigenthümlichen Gewicht besitzen die Atome noch eine weitere Qualität, welche man die **Werthigkeit** oder **Valenz** derselben nennt. Sie besteht darin, daß von gewissen Elementen 1 Atom eines derselben stets nur 1 Atom eines andern zu binden vermag, wie dies bei dem bereits angeführten **Chlorwasserstoff** ClH der Fall ist. Solche Elemente werden als **einwerthige** bezeichnet. Ein **zweiwerthiges** Atom bindet dagegen zwei einwerthige; als Beispiel dient der Sauerstoff, von dem 1 Atom mit 2 Atomen Wasserstoff sich zu **Wasser**, HHO oder H_2O, verbindet. Entsprechend verhält es sich mit den drei-, vier- und mehrwerthigen Atomen.

Durch die Zusammenstellung der chemischen Zeichen werden die **chemischen Formeln** gebildet, die ausdrücken, aus welchen und wie viel Atomen verschiedener Elemente das Molekül einer chemischen Verbindung besteht. Sind von einem Element mehrere Atome vorhanden, so bezeichnet man ihre Anzahl durch eine dem Zeichen angehängte Ziffer. Zu den frühern Beispielen der Formeln des Chlorwasserstoffs = HCl und des Wassers = H_2O fügen wir noch NH_3 = **Ammoniak**; CH_4 = **Sumpfgas**; H_2SO_4 = **Schwefelsäure**; KNO_3 = **Salpeter**; C_2H_6O = **Weingeist**.

Wir ersehen aus der Formel H_2SO_4, daß in 1 Molekül Schwefelsäure 7 Atome vereinigt sind, nämlich 2 Atome Wasserstoff, 1 Atom Schwefel und 4 Atome Sauerstoff. Eine Gruppe von 2 Atomen Kohlenstoff, 6 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff bilden, chemisch verbunden, 1 Molekül Weingeist.

Ueber die Art und Weise, wie die verschiedenen Atome eines Moleküls angeordnet oder gruppirt sind, bestehen verschiedene Ansichten, die sich in den Formeln durch Stellung der Zeichen ausdrücken lassen. Die Erörterung solcher Betrachtungen gehört der theoretischen und speculativen Chemie an. Schließlich sei nur bemerkt, daß die Moleküle, selbst wenn sie aus vielen Atomen bestehen, immer noch höchst kleine, und einzeln genommen weder dem bloßen, noch dem bewaffneten Auge sichtbare Körpertheilchen sind. Wenn Moleküle stark zusammenhängen, so ist der Körper, den sie bilden, ein fester; bei den flüssigen Körpern ist ihr Zusammenhang geringer, und die luftförmigen Körper, die Gase und Dämpfe, sind solche, deren Moleküle gänzlich getrennt in gleichen Abständen voneinander sich befinden, sodaß gleiche Raumtheile derselben eine gleiche Anzahl von Molekülen enthalten.

Aus der unorganischen Chemie.

(Tafel 3 bis 7.)

In dem Nachfolgenden geben wir eine kurze Charakteristik einiger der wichtigern Elemente und ihrer Verbindungen. Hierbei ist Gelegenheit geboten zur Beschreibung einer Reihe von interessanten Apparaten und Methoden, insbesondere aber zu einer ausführlichern Behandlung derjenigen chemischen Producte, die Gegenstand der chemischen Technik in größerm Maßstabe sind.

1. Sauerstoff.

Der **Sauerstoff** (Oxygenium, O = 16) ist ein Bestandtheil der atmosphärischen Luft, die ein Gemenge von 1 Volumen Sauerstoff mit 4 Volumen Stickstoff ist; er ist ferner, chemisch gebunden, der Hauptbestandtheil des Wassers, der meisten Minerale, aller Pflanzen- und Thierstoffe, und man schätzt seine Gesammtmenge auf die Hälfte der Erdmasse. In reinem Zustande gewinnt man den Sauerstoff durch Erhitzen gewisser Verbindungen desselben, wie z. B. des **Braunsteins** oder **Mangan-Ueberoxyds**, (MnO_2). Am leichtesten geschieht dies, wenn **chlorsaures Kali**, $KClO_3$, mit Zusatz von etwas Braunstein in einer Retorte erhitzt wird. Das rasch und in Menge sich entwickelnde Gas wird durch ein gekrümmtes Rohr unter einen mit Wasser gefüllten Cylinder geleitet und in diesem aufgefangen, wie Taf. 4, Fig. 1 zeigt. Es ist farb- und geruchlos, etwas schwerer als Luft. Vorzüglich ausgezeichnet ist der Sauerstoff dadurch, daß brennbare Körper in demselben mit außerordentlicher Lebhaftigkeit verbrennen, insbesondere Kohle, Eisen und Phosphor unter der glänzendsten Lichtentwickelung.

Der Sauerstoff ist als chemisches Agens von höchster Bedeutung, denn die wichtigsten Processe, wie das Athmen, die Verbrennung, die Gärung und viele andere werden lediglich bedingt durch ihn. Die aus seiner Vereinigung mit andern Elementen entstehenden Verbindungen werden **Oxyde** genannt. Ein Theil derselben zeichnet sich aus durch einen sauren Geschmack; es sind dies die **Säuren**, welche noch weiter charakterisirt sind durch ihr Vermögen, blaue Pflanzenfarben in Roth zu verwandeln. Mit den Metallen bildet der Sauerstoff die sogenannten **Basen**, deren Eigenschaften denen der Säuren entgegengesetzt sind, indem sie einen Laugengeschmack besitzen und die rothe Pflanzenfarbe in Blau verwandeln.

2. Wasserstoff.

Der **Wasserstoff** (Hydrogenium, H = 1), kommt in freiem Zustande in der Natur nicht vor; er ist Bestandtheil des Wassers, der Pflanzen- und Thierstoffe und mancher Minerale. Zur Gewinnung desselben wird stets das Wasser (H_2O) verwendet, dem man durch die Einwirkung eines Metalls den Sauerstoff entzieht. Hierzu läßt sich das Eisen verwenden, indem in einen Flintenlauf ein gewundener Eisendraht gebracht und derselbe (Taf. 4, Fig. 2) zum Glühen erhitzt wird. Das Eisenrohr steht einerseits mit einem kleinen Kolben in Verbindung, in welchem Wasser siedet, dessen Dampf beim Hinstreichen über glühendes Eisen zerlegt wird; der Sauerstoff verbindet sich mit dem Eisen zu Eisenoxyd und der freigewordene Wasserstoff wird in einem Cylinder aufgefangen. Es ist jedoch bequemer, den Wasserstoff ohne Anwendung eines starken Kohlenfeuers darzustellen, und es geschieht dies sehr leicht, wenn man **Zink** mit verdünnter Schwefelsäure in dem Entwickelungsapparat (Taf. 3, Fig. 9) übergießt. Es entsteht schwefelsaures Zinkoxyd, während Wasserstoffgas entweicht. Dasselbe ist jedoch feucht, und wünscht man es trocken zu erhalten, so muß es, wie die Figur zeigt, durch eine mit Stücken von Chlorcalcium gefüllte Röhre geleitet werden, wodurch ihm der beigemengte Wasserdampf vollständig entzogen wird.

Der Wasserstoff ist ein farb- und geruchloses Gas, und vornehmlich ausgezeichnet durch sein geringes specifisches Gewicht, das vierzehnmal geringer ist als das der Luft. Der Wasserstoff ist daher der leichteste aller Körper. Um dies durch den Versuch zu veranschaulichen, läßt man aus einem mit Wasserstoffgas gefüllten Behälter B (Taf. 4, Fig. 7), dem sogenannten **Gasometer**, dieses Gas durch ein Chlorcalciumrohr streichen, um es von Wasserdampf zu befreien, der

sein Gewicht sehr vermehren würde; es gelangt alsdann in einen kleinen, auf die Oeffnung der gebogenen Röhre aufgesetzten Kautschukballon, der sich anfüllt und in die Luft erhebt, sobald man ihn losläßt. Man benutzte daher in früherer Zeit das Wasserstoffgas zum Füllen großer für Luftfahrten bestimmter Ballons. Gegenwärtig verwendet man hierzu das Leuchtgas, welches zwar beträchtlich schwerer ist als Wasserstoff, dessen Darstellung jedoch wohlfeiler und leichter ausführbar ist.

Der hier abgebildete Gasometer, dessen man sich häufig bei Experimenten mit Gasen bedient, besteht aus einem 50 Centimeter hohen Blechcylinder B, der durch zwei mit Hähnen versehene Röhren mit einem obern, offenen Behälter in Verbindung steht. B wird ganz mit Wasser gefüllt, alle Hähne geschlossen und nunmehr die unten links sichtbare Schraube aufgedreht und in die Oeffnung das Rohr eingeführt, aus welchem das Gas sich entwickelt. Indem es in B aufsteigt, fließt unten eine entsprechende Menge von Wasser aus. Sobald B nahezu gefüllt ist, was man an dem nebenbefindlichen Wasserstandrohr von Glas ersieht, wird die Schraube geschlossen und der obere Behälter mit Wasser gefüllt. Oeffnet man nun den Hahn rechts, dessen Rohr bis auf den Boden von B reicht, so übt das Wasser einen Druck auf das Gas aus und dieses entweicht, sobald oben der seitliche Hahn geöffnet wird.

Die zweite charakteristische Eigenschaft des Wasserstoffs ist seine Brennbarkeit. Nähert man dem aus einer Oeffnung ausströmenden Gas eine Flamme, so entzündet es sich und brennt mit einer schwach leuchtenden, aber sehr heißen Flamme. Es findet hierbei die Verbindung des Wasserstoffs mit Sauerstoff statt, deren Product das Wasser ist. Hält man in der That über eine Wasserstoffgasflamme eine Glasglocke, so verdichtet sich an deren Wand der entstandene Wasserdampf und man kann das herabrinnende Wasser aufsammeln.

Zwei Volumen Wasserstoffgas erfordern zu ihrer vollkommenen Verbrennung ein Volumen Sauerstoffgas. Bringt man die genannten Gase in diesem Verhältniß zusammen und entzündet das Gemenge, so erfolgt eine heftige Explosion, weil der gebildete Wasserdampf durch die gleichzeitig entstehende große Hitze eine außerordentliche Ausdehnung erfährt. Dieses Gasgemenge, das den bezeichnenden Namen Knallgas erhalten hat, ist daher höchst gefährlich und alle Experimente mit Wasserstoff erfordern die größte Vorsicht, da schon ein wenig beigemengte Luft dasselbe explodirbar macht.

Nichtsdestoweniger kann man dieses Gasgemenge ohne Gefahr anzünden, wenn man sich des Knallgasbrenners (Fig. 6) bedient. Die Gase befinden sich getrennt in besondern Behältern unter gleichem Druck und stehen durch Kautschukschläuche mit dem Brenner in Verbindung; bei S tritt der Sauerstoff ein durch ein enges Rohr, welches umgeben ist von dem weitern Knierohr W, das den Wasserstoff zuführt. Beide Gase vermischen sich erst in dem Augenblick, wo sie die Oeffnung des Brenners verlassen, und erzeugen angezündet die Knallgasflamme von ungeheuerer Hitze. Man verwendet dieselbe zum Löthen und Schmelzen von Platin; ein Stückchen Kalk wird in dieser Flamme weißglühend und strahlt ein der Sonne ähnliches Licht aus, das unter dem Namen Drummond's Kalklicht in der Optik verwendet worden ist und jetzt meist durch das elektrische Licht ersetzt wird.

Einen andern Wasserstoff-Löthapparat zeigt uns Fig. 5 im Durchschnitt. Seine Einrichtung hat eine gewisse Aehnlichkeit mit dem Gasometer. Der Apparat ist von Blei oder Kupfer gefertigt; sein unterer Theil enthält auf dem durchlöcherten Boden KL Stücke von Zink. Im obern Theile befindet sich verdünnte Schwefelsäure, die beim Oeffnen des Hahns f zum Zink tritt und die Entwicklung von Wasserstoffgas bewirkt, das durch das Rohr ba in das kleine Absperrgefäß B gelangt und seinen Ausweg bei C zum Löthrohr nimmt, wo ihm seitlich durch einen Blasbalg Luft zugeführt wird. Neuerdings hat man jedoch bei derartigen Vorrichtungen den Wasserstoff ersetzt durch gewöhnliches Leuchtgas.

Auf einer Combination der Eigenschaften des Platins und des Wasserstoffs beruht die Einrichtung des elegantesten aller Feuerzeuge, das von Döbereiner erfundene Platin-Feuerzeug (Fig. 4), das ebenso gut Wasserstoff-Feuerzeug genannt werden könnte. In der kleinen Messingkapsel f ist ein aus höchst fein zertheiltem Platin bestehendes sogenanntes Platinschwämmchen aufgestellt; dasselbe hat die merkwürdige Eigenschaft, aus der Luft Sauerstoff anzuziehen, etwa wie ein Schwamm Wasser aufsaugt und zurückbehält. Beim Niederdrücken der Feder c öffnet sich ein Hahn, aus welchem Wasserstoff ausströmt; sobald derselbe auf den Platinschwamm trifft, beginnt eine Verbindung desselben mit Sauerstoff, wobei eine solche Entwickelung von Wärme stattfindet, daß der Platinschwamm glühend wird und das weiter ausströmende Gas entzündet. Dasselbe kommt aus einer kleinen Glasglocke, in welcher ein Stück Zink b aufgehängt ist. Der Cylinder cc enthält verdünnte Schwefelsäure, welche beim Oeffnen des Hahns in die Glocke eindringt und die Entwickelung von Wasserstoff bewirkt. Nach dem Schließen des Hahns verdrängt das Gas wieder die Schwefelsäure aus der Glocke. Leider kann man dieses sinnreiche Feuerzeug nicht in die Tasche stecken, und so ist es fast ganz außer Gebrauch gekommen.

Den Beschluß der wissenschaftlichen, auf den Wasserstoff sich beziehenden Darstellungen macht (Fig. 3) ein Apparat zur Bildung von Wasser. Dieselbe soll in der Weise vor sich gehen, daß sie den genauesten Beweis liefert über Zusammensetzung des Wassers in Procenten von Sauerstoff und Wasserstoff. Zu diesem Zwecke wird aus Zink und verdünnter Schwefelsäure in der Flasche A Wasserstoffgas entwickelt und zunächst durch eine Flasche B geleitet, die mit concentrirter Schwefelsäure gefüllt ist. Letztere besitzt das Vermögen, den Gasen beigemengten Wasserdampf zu entziehen. Um jedoch jede Spur des letztern aus dem Wasserstoffgas zu entfernen, passirt dieses noch ein System von Uförmigen Absorptionsröhren C, D, E, die Stückchen von Bimsstein enthalten, welche mit Schwefelsäure befeuchtet sind, sodaß das Gas absolut trocken in den kleinen Kolben F gelangt, der Kupferoxyd enthält und sorgfältig gewogen worden ist. Wenn man nun vermittels einer Lampe das Kupferoxyd erhitzt, so verbindet sich der in ihm enthaltene Sauerstoff mit dem durchpassirenden Wasserstoff und bildet damit Wasser, welches sich theils in flüssiger Form in dem Ballon G ansammelt, theils in Dampfform von der Absorptionsröhre H aufgenommen wird. Da auch G und H vor dem Versuch gewogen worden waren, so ergibt sich aus der Zunahme ihres Gewichts die Menge des gebildeten Wassers; aus der Gewichtsabnahme des Kolbens F findet man die Menge des in diesem Wasser enthaltenen Sauerstoffs; letztere von ersterm abgezogen ergibt den zur Bildung des Wassers verwendeten Wasserstoff. Auf diese Weise hat man gefunden, daß das Wasser zusammengesetzt ist, wie folgt:

88,8 Proc. Sauerstoff
11,2 Proc. Wasserstoff
100,0 Wasser.

Von der wissenschaftlichen Betrachtung des Wassers übergehend zu dessen technischer Verwendung, bedarf es keines Nachweises für die Wichtigkeit dieses allgemeinen Lebensbedürfnisses. Dem Chemiker insbesondere leistet es als Lösungsmittel für die meisten Körper unschätzbare Dienste. Ueberall, wo Menschen ihren Wohnsitz aufzuschlagen gedenken, bildet das Vorhandensein von Wasser die erste Frage, und da, wo die Natur nicht freiwillig diesen Lebensquell hervorsprudeln läßt, werden weder Mühe noch Kosten gescheut, sei es Wasser herzuleiten aus weiter Ferne oder es zu erbohren aus unzugänglicher Tiefe.

Letzteres ist der Fall bei dem Artesischen Brunnen, zu dessen Erbohrung die Fig. 8—12 verzeichneten Geräthe verwendet werden. Man nimmt an, daß dieser Name herrühre von der Grafschaft Artois, wo die ersten Brunnen der Art hergestellt worden seien. Allein es ist sicher, daß bereits den alten Aegyptern sowie den Chinesen das Verfahren, durch Bohrung Quellen zu fördern, bekannt war. Meist ist die Ansicht verbreitet, daß sich überall artesische Brunnen erbohren ließen, wenn es nur gelinge, hinreichend tief in die Erdrinde einzudringen. Die vorliegenden Erfahrungen weisen jedoch darauf hin, daß die Mehrzahl der vorhandenen Brunnen dieser Art in denjenigen Erdschichten sich befindet, welche geologisch als Uebergangsgebirge oder secundäre Formationen bezeichnet werden; nächst diesen hat man auch in neuern oder tertiären Bildungen Quellen erbohrt, während es geradezu als Zufall gilt, wenn in zerklüftetem Massengestein, wie Granit, Wasser erreicht wird.

Der zur Bohrarbeit verwendete Erdbohrer ist ein schwerer Meißel mit gerader Schneide (Fig. 10), oder mit Sförmiger (Fig. 9), seltener rund und gezahnt (Fig. 11). Vermittels einer Schraube ist er an dem Gestänge befestigt, das aus 6 — 7 Meter langen und bis 6 Centimenter dicken eisernen Stangen besteht, deren mit zunehmender Tiefe immer neue aneinandergeschraubt werden. Es wird an der zum Bohrversuch geeignet scheinenden Stelle zuerst ein Schacht gegraben, bis man festen Boden oder Gestein erreicht, worauf ein hohler Deigel k von Holz (Fig. 8) eingelassen und in diesen das Gestänge eingeführt wird. Es hängt an einem Seile n, das durch den Hebel v v gehoben werden kann.

Diese Vorrichtung dient, um das Gestänge mit dem Meißel einige Fuß hoch zu erheben und dann wieder fallen zu lassen, wodurch die Zertrümmerung des Gesteins bewirkt wird. Die Hebearbeit geschieht entweder direct durch Menschenkraft oder durch mechanische Kräfte anderer Art, welche den Schläger u, der den Hebel v abwechselnd hebt und fallen läßt, durch Uebersetzung in Bewegungen erhalten. Ein Arbeiter gibt vermittels der Handhabe r dem Meißel von Zeit zu Zeit eine Viertelsumdrehung, damit das erbohrte Loch rund werde. Enthält dies nicht von Natur schon etwas Wasser, so wird solches von oben eingegossen. Wenn nach einiger Zeit eine gewisse Menge von Bohrschlamm sich gebildet hat, so muß derselbe herausgeholt werden, was vermittels des sogenannten Löffels (Fig. 12), geschieht. Das Seil n wird mit dem über eine Rolle gehenden Seil y verbunden, das um die Welle x geschlungen ist, durch deren Umdrehung das Gestänge herausgehoben und der Meißel durch den Löffel ersetzt. Beim Hinablassen und Fallenlassen des letztern öffnet sich, so oft dies geschieht, das Ventil bei a, der Schlamm tritt in den Hohlraum, erfüllt denselben und wird heraufgezogen. Sobald das Bohrloch ausgeräumt ist, beginnt wieder die Arbeit des Meißels.

Diese Art der Arbeit, die insbesondere bei großen Tiefen sehr zeitraubend ist, hat mehrfache Vervollkommnung in der Construction der Bohrwerkzeuge erfahren, allein immerhin hängt die Geschwindigkeit im Vorrücken derselben wesentlich ab von der Natur des Gesteins, das durchsenkt werden muß.

Abgesehen von zahllosen artesischen Bunnen, die bereits in geringer Tiefe Wasser ergeben haben, sind einige derselben berühmt geworden durch die außerordentliche Tiefe, bis zu welcher der Meißel hingetrieben worden ist. Hierbei hat sich das auch anderwärts beobachtete Gesetz bestätigt, daß die Wärme der Erde zunimmt, je tiefer man in ihre Rinde eindringt. Das Bohrloch von Grenelle in Paris hat 547 Meter Tiefe, und liefert Wasser von 27,7° Wärme; das von Mondorf, bei 730 Meter Tiefe, solches von 34°.

Eine andere bei der fortwährend zunehmenden Verdichtung der Bevölkerung mehr und mehr sich aufdrängende Frage ist die nach der Beschaffenheit des als unentbehrliches Nahrungsmittel verwendeten Wassers, gleichgültig ob dasselbe als Trinkwasser oder zur Zubereitung von Speisen, ja selbst als Verbrauchwasser in der Haushaltung dient. Unter allen Umständen müssen wir die ausgiebige Verfügung über reines Wasser als eine der nothwendigsten Bedingungen für das Wohlbefinden des Menschen ansehen. Es steht fest, daß die Entstehung und Verbreitung von Epidemien ihre wesentliche Förderung durch Brunnen erhält, zu welchen organische Zersetzungsstoffe durch die Erde ihren Weg finden.

Die Verbesserung unreinen Wassers ist daher vielfach Gegenstand der chemischen Technik geworden und der einzuschlagende Weg hängt ab von der Natur der vorhandenen Verunreinigungen. Bestehen dieselben lediglich in dem Vorhandensein trübender Theile, so genügt eine Filtration des Wassers, um dieselben zu entfernen und demselben die Klarheit des Wassers zu verleihen, welche mehr unser Auge als unser Geschmack verlangt. In Städten von der ungeheuern, auf zwei bis drei Millionen angeschwollenen Bevölkerung, wie dieses mit Paris und London der Fall ist, ist man gezwungen, analog dem Sprichwort: „Wir nehmen Geld, wo wir es finden" — das Wasser herzunehmen, wo man es findet; es kommen da nicht nur natürliche und erbohrte Quellen und Brunnen, sondern auch das Regen- und Flußwasser zur Verwendung, und es ist insbesondere das letztere, für welches großartige Filtrirwerke in Gang gesetzt worden sind. Aber auch Berlin ist bereits auf den Verbrauch filtrirten Spreewassers angewiesen.

Dieselben bestehen im wesentlichen darin, daß man das Wasser durch wechselnde Schichten von gröberm und feinerm Sand und Holzkohlenpulver sickern läßt, was bis zu einem gewissen Grade beschleunigt werden kann durch Anwendung von höherm Druck. Als oberste Filtrirschicht dient immer ein grobes Material, das die Hauptmasse der trübenden Stoffe aufzunehmen vermag, ohne alsbald sich zu verstopfen. Mit der Zeit ist jedoch eine Erlahmung jeder Filtrirvorrichtung durch die Zunahme der Verstopfung unvermeidlich und die Erneuerung oder Reinigung derselben nothwendig. Letztere geschieht in der Regel in der Weise, daß man reines Wasser in ungekehrtem Weg durch das Filter gehen läßt, das den abgesetzten Schlamm hinwegnimmt. Als Beispiel erblicken wir auf Taf. 4, Fig. 15 ein Filtrirwerk mit sogenannter Selbstreinigung. Der Boden q ist festgestampft und mit Platten in Cement gepflastert; auf demselben sind im Abstand von 0,3 Meter die Ziegel o in Reihen hochkantig aufgestellt, aber so, daß sie bei 1,5 Centimeter Abstand offene

Fugen lassen. Die Kanäle, die so durch die Ziegelreihen gebildet werden und durch die Fugen miteinander in Verbindung stehen, sind von oben mit durchlöcherten Platten bedeckt, auf welchen die Schichten des Filtrirmaterials aufgetragen werden, nämlich: zuerst 30 Centimeter gewaschener Kies, dann fünf weitere Schichten in immer abnehmendem Korn, dann 45 Centimeter gewaschener feiner Sand, endlich zu oberst 45 Centimeter desselben Sandes mit $^1/_{10}$ gestoßener Holzkohle vermischt.

Das zu filtrirende Wasser kommt durch den Kanal H an und fließt bei offener Schütze R und offenem Hahn S durch das Rohr auf den Sand, durchsinkt das Filter, sammelt sich in den Zwischenräumen o und zieht von da aus dem Filter ab. Wenn das Filter der Erschöpfung nahe ist, so gibt man dem Hahn S eine Drehung, welche die obere Oeffnung des Rohres O schließt und den senkrecht unter die Filtrirschichten in die Zwischenräume o . . . gehenden Schenkel bei P öffnet. Der Druck zwingt das Wasser aufwärts durch das Filter zu steigen, wo es die darin abgelagerten Unreinigkeiten losspült und durch die Oeffnungen L nach dem Abzugskanal führt. Die Oberfläche des Filters muß zum Schlusse jedesmal etwas aufgerauht und von Zeit zu Zeit erneuert werden. Ein solches Filter liefert in 24 Stunden 35500 Kubikmeter Wasser.

Von Vorrichtungen in kleinerm Maßstabe, die in Haushaltungen verwendbar sind, zeigt Fig. 13 ein solches, das zum Gebrauch auf der See bestimmt ist. Ein in die obere Mündung des Bottichs eingesetzter Eimer l mit durchbrochenem Boden a dient zum Eingießen und verhindert das Ueberlaufen während der Schwankungen des Schiffs. Das Wasser fällt aus dem Raume b durch das Rohr d in den Raum c und steigt, wenn es diesen angefüllt hat, mit einem dem Falle entsprechenden Druck aufwärts durch die Filtrirschichten in g nach dem Raume k mit dem Hahn n zum Ablassen des filtrirten Wassers. Ein hier nicht abgebildetes Rohr gestattet der Luft den Austritt aus k.

Ein Filter von noch kleinern Verhältnissen ist in Fig. 14 abgebildet. Dasselbe besteht aus einem sackförmig ausgehauenen, feinkörnigen, Wasser durchlassenden Sandstein aa. Der Deckel mit dem daranhängenden Filtrirsteine wird mit dem Blechmantel ff und dem gußeisernen Bodenstück dd durch die an letzterm festsitzenden Bügel g mittels der Druckschraube n wasserdicht zusammengehalten. Das zu filtrirende Wasser kommt mit dem erforderlichen Druck von 3 Metern durch das Rohr m in den Raum zwischen Mantel und Filtrirstein, dringt durch die ganze Oberfläche in das Innere, und füllt dieses an, bis es durch das Rohr c abläuft. Zum Reinigen öffnet man i, um Luft ein-, und den Propfen h, um das Wasser abzulassen, und löst die Schraube, worauf man den Filtrirstein herausnehmen und scheuern kann. Aehnliche und noch einfachere Apparate werden in Berlin aus einer künstlich erzeugten gepreßten Filtrirkohle angefertigt.

Wenn wir an ein „gutes Trinkwasser" die folgenden Anforderungen stellen: völlige Klarheit, Freisein von mikroskopischen Thieren und Pflanzenformen, möglichstes Freisein von organischen Stoffen, besonders faulenden, möglichste Weichheit und erforderlichen Gehalt an Kohlensäure und Luft, sowie endlich richtige Temperatur — so kann ein filtrirtes Wasser denselben nur in annäherndem Grade entsprechen. Insbesondere wirkt das Filtriren vermindernd auf den Gehalt an Gasen, und das Wasser großer Städte ist daher meist schal, unerquicklich, wie abgestanden. Von den genannten organischen Stoffen ist dasselbe um so reiner, je mehr die Holzkohle bei der Filtration in Anwendung kommen konnte.

Als ein chemisches Mittel, um trübes Wasser zu klären, empfiehlt sich in manchen Fällen der Zusatz von etwas Alaun. Die in diesem Salz enthaltene Thonerde ist ausgezeichnet durch ihre Neigung, mit organischen Stoffen, insbesondere mit Pflanzenfasern, sich zu verbinden, die bei Gegenwart von Ammoniak noch begünstigt wird. Es kann daher leicht ein trübes und übelriechendes Wasser die Bedingungen zur Zersetzung des Alauns erfüllen, wobei die Thonerde in Gestalt einer gallertartigen Masse sich ausscheidet, welche die trübenden Theile einhüllt und rasch niederschlägt.

Einer der gewöhnlichsten Bestandtheile des Wassers ist der kohlensaure Kalk. Derselbe beeinträchtigt jedoch keineswegs seine Verwendung als Trinkwasser. Dagegen erweist sich ein kalkhaltiges oder sogenanntes hartes Wasser ungeeignet für manche ökonomische Zwecke, als z. B. zum Kochen der Hülsenfrüchte und zum Waschen. In der Regel findet sich dafür ein Ersatz durch die Verwendung von Regen- oder Flußwasser. Ueberdies erweist sich der Kalkgehalt des Wassers in der großen Industrie mehrfach von äußerst nachtheiligem Einfluß, und es gilt dies insbesondere von dem Betrieb der Dampfmaschinen. Bei dem ungeheuern Wasserverbrauch durch den Dampfkessel setzt sich, selbst bei geringem Kalkgehalt, alsbald eine Kalkkruste auf dessen Boden ab, der sogenannte Kesselstein, der Anlaß zu Störung des Betriebs, zu vermehrtem Kohlenverbrauch und zu Explosionen gibt. Die Mittel zur Verhütung und zur Entfernung der Bildung des Kesselsteins sind zahllos, ohne daß sie jedoch das Uebel radical beseitigen.

Zum Verständniß seiner Bildung sei bemerkt, daß der kohlensaure Kalk an sich im Wasser unlöslich ist, dagegen von demselben aufgelöst wird, wenn es Kohlensäure enthält; wird nun ein Wasser, das in dieser Weise Kalk enthält, erhitzt, so entweicht die Kohlensäure und der kohlensaure Kalk fällt als feiner Schlamm zu Boden und erhärtet zu einer Kruste, wie dies in unsern Kochgeschirren beobachtet werden kann. Hierauf beruht die Taf. 4, Fig. 18 im Durchschnitt abgebildete Vorrichtung zur Verhütung des Kesselsteins. Das durch o eintretende Speisewasser steigt in dem Rohre d auf, vertheilt sich, bei c austretend, über tellerartige Querwände m zu beiden Seiten, und gelangt von Teller zu Teller herabfließend durch die Rohre aa in den ringförmigen Behälter bb, den es anfüllt, bis es durch c in den Kessel abläuft. Auf diesem Wege erhitzt der durch die weite Oeffnung p aus dem Kessel zutretende Dampf das Wasser und schlägt einen großen Theil des Kalks nieder, der sich am Boden des ringförmigen Gefäßes bei bb sammeln und durch d nach außen entfernt werden kann. Nachdem eine mit dieser Vorrichtung versehene Locomotive 5074 Meilen Wegs zurückgelegt hatte, betrug der in bb niedergeschlagene Kalk 448 Kilogramm, oder 72 Procent des im Wasser enthaltenen Kalks.

Es war unstreitig die obenerwähnte Einbuße des erfrischenden Geschmacks, die das Wasser durch die Filtration erleidet, welche Anregung gab, in großen Städten ein angenehmeres Getränk dadurch herzustellen, daß man dem Wasser künstlich Kohlensäure zusetzte. Quellen, die von Natur ein Wasser liefern, das reich ist an Kohlensäure, und die daher Sauerwasser genannt werden, finden sich zwar, und hier und da so häufig, daß hiernach eine Gegend zwischen Rhein und Nahe das Sauerland heißt. Weit und

breit wird das dorther stammende Selterserwasser versendet. Allein theils weil bei weitem Transport dieses Wasser ein Luxusartikel wird, theils um sich von auswärtigem Bezug unabhängig zu machen, entstand die Industrie der künstlichen Säuerlinge.

Wir erblicken in Fig. 17 einen zur Darstellung solcher Wasser dienenden Apparat. In den Gasgenerator B wird kohlensaure Magnesia (Magnesit) gebracht und aus dem Behälter C Schwefelsäure hinzugegeben. Das hierdurch entwickelte Kohlensäuregas entweicht durch das Rohr d' und wird, indem es ein System von Waschflaschen DD, dd passirt, gereinigt und tritt durch das Rohr D'' in den 1,5 Meter hohen Gasbehälter GG, dessen unterer Theil in einem Wasserbehälter steht, von dem in der Abbildung ein Stück der vordern Wand hinweggelassen ist, um dessen innere Einrichtung sehen zu lassen. Daselbst befindet sich eine Druckpumpe, vermittels welcher GG mit Wasser angefüllt worden war. Die bei r eintretende Kohlensäure füllt allmählich den ganzen Gasbehälter, indem sie das Wasser aus demselben durch tt' wieder in den Wasserkasten drängt. Sobald dies geschehen ist, werden die Hähne x und r geschlossen und die Druckpumpe in Thätigkeit gesetzt, so lange, bis das in den Cylinder GG gepreßte Wasser die darin befindliche Kohlensäure auf ein Fünftel zusammengedrückt hat. Es wird nunmehr der Hahn p geöffnet und das comprimirte Gas durch D''' in den horizontalen, mit Wasser gefüllten Cylinder M geleitet. Indem man den Rührer T in Umdrehung versetzt, vermischt sich die Kohlensäure mit dem Wasser und wird von demselben absorbirt. Vermittels eines Hahns von besonderer Einrichtung wird das nunmehr mit Kohlensäure gesättigte Wasser aus M in Flaschen abgezogen. Soll dasselbe überdies die Bestandtheile einer Mineralquelle enthalten, so werden die betreffenden Salze durch R dem Wasser zugesetzt. Die Hähne q und g werden nur dann geöffnet, wenn man den Generator durch das Rohr H entleeren will.

Den Schluß unserer Betrachtungen über das Wasser bildet die Verwendung desselben als Eis, die eine von Jahr zu Jahr steigende Wichtigkeit erreicht hat. Während längere Zeit dasselbe lediglich als ein Mittel diente, um in der heißen Jahreszeit kühle Getränke herzustellen, und bei uns nur als ein Luxusartikel angesehen wurde, spielt es jetzt seine Hauptrolle als vorzüglichstes Erhaltungsmittel unserer Nahrungsstoffe. Die Auffindung eines urweltlichen Elefanten, eines Mammuth, mit wohlerhaltenem Fleisch, eingefroren in sibirischem Eis, hat uns belehrt, daß niedere Temperatur die Zersetzung auf Jahrtausende verhindern kann. Es liegt daher nahe, aus dieser merkwürdigen Erfahrung den umfassendsten Nutzen für die menschliche Oekonomie im großen und kleinen zu ziehen. Nicht nur begegnen wir in vielen Haushaltungen dem Eisschranke, der dazu dient, um Butter, Milch, Fleisch länger frisch und die Getränke kühl zu erhalten, sondern Millionen Centner Eis werden von Fleischern, Fischhändlern, Bierbrauern und Conditoren geborgen, in ähnlicher Absicht. Nicht minder hat die wohlthätige Verwendung des Eises in der Heilkunde mit der Leichtigkeit seiner Beschaffung zugenommen.

Und dennoch kann der Fall eintreten, daß man, insbesondere für letztgenannten Zweck, Eis entbehren muß, sei es, daß die Vorräthe erschöpft sind oder daß örtliche Verhältnisse deren Aufbewahrung unmöglich machen. Hierdurch wurde man hingeführt zur künstlichen Erzeugung von Eis, die seit lange schon als interessantes physikalisches oder chemisches Experiment in den Vorlesungen ausgeführt worden ist. Dieselbe hat in der Hand der Technik eine solche Ausbildung erfahren, daß, unter gewissen Verhältnissen wenigstens, der Preis des künstlich erzeugten Eises dem von der Natur producirten die Wage zu halten vermag.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß Abkühlung eintritt, wenn Wasser verdunstet, und wir begießen zu diesem Zweck im Sommer Straße und Hausflur. Flüssigkeiten, die rascher verdunsten als Wasser, erzeugen aber verhältnißmäßig eine weit stärkere Erkaltung; es handelte sich für die Industrie darum, eine Flüssigkeit der Art so zu verwenden, daß dieselbe durch die Verdunstung nicht verloren wird, sondern wieder verdichtet und wiederholt zur Eisbildung benutzt werden kann. Auf diesem Princip beruht der Taf. 4, Fig. 16 abgebildete Eisapparat von Carré. In einer Retorte von Schmiedeeisen A befindet sich eine höchst concentrirte Lösung von Ammoniak in Wasser; dieselbe wird durch einen untergesetzten Ofen auf 130° erwärmt. Das Ammoniak entweicht durch das Rohr b und tritt in die mit Wasser umgebene Vorlage B. Alle Vorrichtungen sind luftdicht miteinander verbunden. Das Ammoniak kann daher nicht entweichen, es verdichtet sich vielmehr in B zu einer Flüssigkeit von höchster Flüchtigkeit. Sobald dieses geschehen ist, wird unter A der Ofen hinweggenommen und ersetzt durch ein Gefäß mit kaltem Wasser; zugleich entfernt man den Wasserbehälter CC, der B umgeben hatte. Sofort beginnt das flüssige Ammoniak sich in Dampf zu verwandeln, der wieder von dem in A befindlichen Wasser absorbirt wird. Die Verdunstung ist so energisch, daß in B eine Erkältung von —40° eintritt und Wasser rasch gefriert, welches sich in einem in B eingeschobenen Cylinder befindet. Die Ammoniaklösung kann nun aufs neue und in derselben Weise zur Eiserzeugung verwendet werden.

3. Stickstoff.

Der Stickstoff, Nitrogenium, $N = 14$, ist ebenfalls ein gasförmiges Element, etwas leichter als Luft, farb- und geruchlos. Dem Raume nach bestehen vier Fünftel der Atmosphäre aus Stickstoff, dem ein Fünftel Sauerstoff beigemengt ist. Im übrigen findet sich derselbe weder häufig, noch massenhaft; doch enthalten thierische Stoffe, mit Ausnahme des Fettes, durchschnittlich 16 Procent Stickstoff; im Pflanzen- und Mineralreich ist er selten. Von verschiedenen Methoden, um reinen Stickstoff zu erhalten, beschreiben wir die nachfolgende: In einer kleinen Retorte (Taf. 3, Fig. 16) erhitzt man salpetrigsaures Ammoniak NH_4NO_2, das sich zersetzt in Stickstoff und Wasser $(N_2 + 2H_2O)$; letzteres verdichtet sich in der dreihalsigen Flasche, während das Gas in bekannter Weise aufgefangen wird. Abgesehen davon, daß eine brennende Kerze in Stickstoffgas erlischt, hat dasselbe keine ausgezeichneten Eigenschaften, allein dasselbe bildet verschiedene wichtige Verbindungen, von denen die Salpetersäure HNO_3, auch Scheidewasser genannt, in der Technik vielfach Verwendung findet. Beim Faulen thierischer Stoffe entsteht die vorhin genannte gasförmige Verbindung des Stickstoffs mit Wasserstoff, das Ammoniak NH_3, das durch seinen stechenden Geruch sich leicht bemerklich macht. Seine Lösung in Wasser heißt Salmiakgeist und ist ein bekanntes Arzneimittel. Zu dessen Darstellung im kleinen wird in einem Kolben (Fig. 20) ein Gemenge von gebranntem Kalk und Salmiak erhitzt; das entweichende Ammoniakgas wird gewaschen, indem es eine dreihalsige Flasche passirt, die etwas Wasser enthält; es tritt sodann in eine Flasche mit reinem Wasser und wird von diesem absorbirt.

Ammoniak und Salze desselben bilden sich fer-

ner, wenn thierische Stoffe erhitzt werden. In der That war der beim Verbrennen des Kamelmistes entstehende Ruß die älteste Quelle zur Gewinnung von Chlorammonium oder Salmiak NH_4Cl. Aber auch die Steinkohle, die durchschnittlich 0,8 Procent Stickstoff, entsprechend 1 Procent Ammoniak enthält, liefert dasselbe, wenn sie erhitzt wird. Dies ist der Fall bei der Gasfabrikation, wo in dem nebenbei auftretenden Theerwasser Ammoniak enthalten ist. Da jährlich Millionen Centner Steinkohlen zur Gaserzeugung der Destillation unterworfen werden, so könnte hierdurch der ganze Bedarf an Ammoniak gedeckt werden. Seine Gewinnung aus den Theerwassern ist jedoch mit Schwierigkeit verbunden, weil dieselben nur sehr verdünnte Ammoniaklösungen und außerdem verunreinigt sind durch übelriechende Theerstoffe. Sie geschieht, indem Theerwasser in einem Kessel A (Taf. 7, Fig. 9) erhitzt wird; es entwickelt sich Ammoniakgas, das, begleitet von Wasserdampf, durch das Rohr d in die erweiterten Einsätze e und f tritt, welche von den mit Gaswasser gefüllten Kühlern B und C umgeben sind. Der Wasserdampf wird hierdurch zu Wasser verdichtet, das wieder nach A zurückfließt, während das Ammoniak durch g weiter geht, bei geschlossenem Hahn h in die Vorlage E und von hier durch die mit Kohlenpulver gefüllten Filter G und H in die Vorlage F gelangt, welche reines Wasser enthält, von dem es absorbirt wird. Die Kohlenfilter reinigen das Gas von den Theerstoffen. Sie müssen von Zeit zu Zeit erneuert werden, während dessen man den Hahn i schließt und h öffnet; das Ammoniak wird alsdann von der in der Vorlage D befindlichen Salzsäure unter Bildung von Salmiak aufgenommen. Nach Vollendung der Operation wird der Kessel durch a entleert, das vorgewärmte Theerwasser aus B und C durch Oeffnen der Hähne l und m nachgefüllt und die Arbeit fortgesetzt.

Die Verbindung des Stickstoffs mit Kohlenstoff wird Cyan genannt, d. i. „Blaustoff", weil sie, mit Eisen vereinigt, die unter dem Namen Berlinerblau bekannte prachtvolle blaue Farbe bildet. Seine chemische Formel ist NC, wofür jedoch in der Regel das Zeichen Cy gesetzt wird. Die Bildung des Cyans findet nur unter gewissen Umständen statt und wird fabrikmäßig bewirkt, indem thierische Abfälle verschiedener Art, insbesondere Wolle, Leder und Flechsen, mit einem Zusatz von Pottasche und Eisendrehspan erhitzt werden. Die genannten Rohstoffe werden in kleine verschließbare eiserne Kessel (Fig. 10) gebracht, durch deren Deckel ein Rührwerk geht, worauf man sie bis zum Glühen und Schmelzen des Kesselinhalts erhitzt. Hierbei tritt eine Zersetzung der Thierstoffe unter Entweichung von Gasen ein, und es hinterbleibt eine schwarze Schmelze, die, mit Wasser behandelt, eine Lösung gibt, aus der nach vollzogener Klärung schöne große Krystalle von gelber oder orangerother Farbe sich ausscheiden.

Dieses Salz ist eine Verbindung von Cyan mit Kalium und Eisen, Cy_3KFe, und heißt Cyaneisenkalium. Da anfänglich zu seiner Darstellung eingetrocknetes Blut verwendet wurde, so ist für dasselbe allgemein der Name Blutlaugensalz gebräuchlich. Seine Hauptverwendung findet es zur Darstellung von Berlinerblau, das als Niederschlag sich bildet, wenn eine Lösung desselben mit einer eisenhaltigen Lösung zusammengebracht wird.

Unterwirft man das Blutlaugensalz mit Schwefelsäure der Destillation, so entsteht Cyanwasserstoff CyH, ein farbloses, eigenthümlich nach bittern Mandeln riechendes, höchst giftiges Gas, das, in Wasser geleitet, sich darin auflöst und wässerige Cyanwasserstoffsäure, sogenannte Blausäure, bildet. Mit Quecksilberoxyd zersetzt sich dieselbe in Wasser und Cyanquecksilber $HgCy_2$, das in farblosen Krystallen erhalten wird. Indem man endlich die letztgenannte Verbindung erhitzt, erhält man das Cyan in Gestalt eines farblosen Gases, das mit pfirsichblütrother Flamme brennt.

4. Schwefel.

Der Schwefel, S = 32, ist ein Element von hervorragender Bedeutung; er findet sich vereinzelt an wenigen Orten gediegen, von welchen die Umgebung von Girgenti auf Sicilien die ergiebigste Fundstätte ist, indem sie wol drei Viertel alles Schwefels liefert, der in der Welt verbraucht wird. Außerdem kommt der Schwefel vor in Verbindung mit Eisen, dem sogenannten Schwefelkies oder Pyrit, FeS_2, der über 50 Procent Schwefel enthält und zu dessen Gewinnung benutzt wird; auch andere Metalle, wie Blei, Kupfer, Quecksilber, Zink, Kobalt, Nickel, Antimon und Arsen finden sich vorherrschend in Verbindung mit Schwefel. Seine Verbindung mit Sauerstoff, die Schwefelsäure, ist ein Bestandtheil massenhaft auftretender Minerale, wie des Gipses, Schwerspats und Strontianspats. Endlich begegnen wir noch dem Schwefel in der organischen Natur, indem er bis zu 2 Procent in den eiweißartigen Stoffen der Pflanzen und Thiere enthalten ist.

Auf Sicilien erscheint der Schwefel in Adern und eingesprengt in Gesteinen, die aus Kalk, Gips und Mergel bestehen. Dieselben werden gebrochen und führen einen sehr ungleichen Gehalt an Schwefel, von dem einige 6, andere 15 und die reichsten 25 Procent liefern. Man gewinnt denselben hauptsächlich durch Aussaigerung, d. i. Ausschmelzung, indem man die Gesteine zu einem Meiler mit geeigneten Durchzügen aufeinandersetzt, von außen mit Erde deckt und brennenden Schwefel in die Luftkanäle wirft, um den Meiler anzuzünden. Indem ein Theil des Schwefels verbrennt, schmilzt der übrige und fließt über die schiefe Fläche, auf der der Meiler errichtet worden ist, nach einem Sammelloch. Obgleich dieses Verfahren mit sehr erheblichem Verlust an Schwefel verknüpft ist, so läßt der Mangel an Brennmaterial in jener Gegend ein anderes kaum zu, und die Taf. 6, Fig. 3 abgebildete Einrichtung kommt deshalb seltener in Ausführung. Aus einer gemauerten Kammer g, welche mittels des abgehenden Feuers von außen geheizt wird, füllt man durch den Schieber h das vorgewärmte Schwefel führende Gestein in einen mit Deckel verschließbaren Kessel von Gußeisen a, der unmittelbar von dem Feuer umspielt wird. Die entwickelten Schwefeldämpfe streichen durch das Rohr d und verdichten sich in der Vorlage e; von da zapft man den flüssigen Schwefel durch f in einen Kasten oder in Formen.

Die Gesammterzeugung von Schwefel in Italien wird gegen 6 Millionen Centner im Werthe von 30 Millionen Franken angeschlagen, und es nimmt hiervon die Industrie Englands allein 37 Procent in Anspruch.

Der aus den Meilern ausgeschmolzene Rohschwefel ist mit 0,5 bis 3 Procent von dem Gestein herrührenden Stoffen verunreinigt und muß daher für manche Art seiner nachherigen Verwendung gereinigt oder raffinirt werden. Dies geschieht in dem Taf. 6, Fig. 4 dargestellten Apparat. In einen Vorwärmer f wird der Rohschwefel gebracht und durch die abziehende Hitze der Feuerung geschmolzen; er kann alsdann durch das Rohr hic in den Cylinder a abgelassen werden; letzterer ist der directen Wirkung der Flamme

ausgesetzt, welche den Schwefel in Dampf verwandelt, der durch das weite Abzugrohr b in eine benachbarte geräumige Kammer tritt und dort zu flüssigem Schwefel sich verdichtet, der auf der geneigten Bodenfläche bei p in den Kessel q abgelassen und in kleine Cylinder, zu Stangenschwefel, geformt wird.

Wenn man diesen Destillationsproceß in der Weise vornimmt, daß die Kammer sich nicht erwärmt, so schlägt sich der Schwefel in Gestalt eines feinen Staubes, der sogenannten Schwefelblumen, nieder und wird in dieser Gestalt für verschiedene Zwecke in den Handel gebracht.

Zu den bekanntern Eigenschaften des Schwefels fügen wir ergänzend hinzu, daß derselbe bei 115° schmilzt, bei 400° siedet und sich in Dampf verwandelt. Etwas über diesen Punkt bei Zutritt der Luft erhitzt, entzündet er sich und verbrennt mit blauer Flamme; das hierbei entstehende Product, gewöhnlich unrichtigerweise Schwefeldampf genannt, ist schweflige Säure SO_2, ein erstickend riechendes Gas, das häufig Verwendung findet zum Bleichen von Wolle, Stroh und Federn, sowie zur Conservirung von Speisen und Getränken. Seine Anwesenheit verhindert die Entwickelung der Keime kleiner Organismen und dadurch den Eintritt der Gärung und Fäulniß.

Die schweflige Säure ist ferner die Vorstufe zur Bildung der Schwefelsäure, H_2SO_4, dieser in der Technik so vielfach verwendeten Verbindung, daß man die Größe ihres Verbrauchs in einem Lande als Gradmesser für dessen industrielle Entwickelung bezeichnet hat.

Die Schwefelsäure läßt sich betrachten als die Verbindung von 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerstoff SO_3, wozu noch die Bestandtheile von Wasser H_2O hinzukommen. Es gelingt jedoch nicht, dem Schwefel 3 Atome Sauerstoff ohne weiteres zuzuführen; beim Verbrennen nimmt er aus der Luft deren nur zwei auf und bildet schweflige Säure SO_2. Die weitere Oxydation geschieht durch die Einwirkung von Salpetersäure auf die schweflige Säure, indem erstere einen Theil ihres Sauerstoffs an diese abgibt und sie in Schwefelsäure verwandelt. Die Salpetersäure wird durch diese Abgabe von Sauerstoff zurückgeführt in ein Gas, das Stickoxyd NO heißt und das die merkwürdige Eigenschaft besitzt, sobald es mit Luft zusammenkommt, aus dieser unverzüglich Sauerstoff aufzunehmen und sich in salpetrige Säure N_2O_3 zu verwandeln. Auch diese Verbindung gibt aber, wenn sie mit schwefliger Säure in Berührung kommt, an diese 1 Atom Sauerstoff ab und verwandelt sich zurück in Stickoxyd. Letzteres wiederholt nun die Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft und dessen Abgabe zur Bildung von Schwefelsäure so oft und so lange, als dazu Gelegenheit gegeben ist; es spielt gleichsam die Rolle eines Sauerstoff borgenden und herleihenden Dieners. Während die Mechanik vergeblich nach einem Perpetuum-mobile sucht, hat also die Chemie in dem Stickoxyd ein Perpetuum-agile aufgefunden.

Auf diesen chemischen Zersetzungen und Bildungen beruht der Proceß der Schwefelsäurefabrikation, der darin besteht, durch Verbrennung von Schwefel zuerst schweflige Säure darzustellen, hernach unter Gegenwart von Wasserdampf Salpetersäure einwirken zu lassen, die in Stickoxydgas verwandelt wird, das alsdann seinen Dienst fortsetzt.

In der Vorlesung über Experimentalchemie bedient man sich des Apparats Taf. 3, Fig. 18, um den geschilderten Vorgang zu veranschaulichen. Zu diesem Zweck wird die erforderliche schweflige Säure nicht durch Verbrennung von Schwefel, sondern dadurch erzeugt, daß man in einer kleinen Retorte a Kupferspäne mit Schwefelsäure erhitzt; das Gas tritt durch eine kleine, Wasser enthaltende Flasche und gelangt mit Wasserdampf beladen in den Ballon A, der Luft enthält. In der Retorte b entwickelt sich durch die Einwirkung von Salpetersäure auf Kupferspäne Stickoxydgas, das ebenfalls in den Ballon sich begibt, wo nunmehr alle Bedingungen zur Schwefelsäurebildung erfüllt sind. Die weitern, mit A in Verbindung stehenden Kolben B und c begünstigen die Vollendung des Processes; durch das Rohr c kann erforderlichenfalls frische sauerstoffhaltige Luft zugeführt werden, während in B und C eingesetzte Rohre einen Ausweg für den Stickstoff der Luft gestatten, der an dem ganzen Proceß keinen Antheil nimmt. Die entstandene Schwefelsäure sammelt sich auf dem Boden der Ballons A und C.

Die Schwefelsäurefabrikation ist eine der nur im größten Maßstabe ausgeführten Industrien. Zur Erzeugung der schwefligen Säure verwendet man entweder Rohschwefel, oder man erhitzt schwefelhaltiges Eisenerz, Eisenkies FeS_2, sodaß dessen Schwefelgehalt verbrennt. Im übrigen ist der Verlauf derselbe. Taf. 6, Fig. 6 zeigt einen der besten sogenannten Kiesbrenner im Querdurchschnitt, in vorderer Ansicht und im seitlichen Durchschnitt. Derselbe hat die Gestalt eines Schachtofens, dem bei a Luft eingeblasen wird. Durch die Oeffnungen d d d wird feingepochter Schwefelkies eingeführt, der sich über ein System von durchbrochenen Sohlen aus Thon verbreitet. Die Feuerung befindet sich über dem Rost r, und die bei der Verbrennung des Schwefels entstehende schweflige Säure wird durch den eingeblasenen Wind aufwärts nach e und in der Richtung e g des seitlichen Durchschnitts nach der Flugstaubkammer E geführt, wo die unverbrennlichen Theile des Kieses sich absetzen, während die schweflige Säure ihren Weg in die Schwefelsäurekammer fortsetzt.

An Stelle der in dem Vorlesungsversuch benutzten Ballons treten in der großen Fabrikation die Bleikammern, Räume von 100—2000 Kubikmeter Inhalt, deren Wände bekleidet sind mit Bleiplatten, welche von den hier auftretenden Säuren nicht angegriffen werden. Fig. 5 gewährt uns den Einblick in die Einrichtung einer Fabrik, die täglich 150—200 Ctr. Schwefelsäure erzeugt. A ist der Schwefelbrenner, aus welchem das aus der Verbrennung von Rohschwefel hervorgehende Schwefligesäuregas durch die Rohre B und D in die Vorkammern C und E tritt; in letzterer befindet sich ein System von terrassirten Pyramiden aus Steingut, über welches, von außen kommend, Salpetersäure langsam herabfließend sich ausbreitet und in Stickoxyd zersetzt und somit der Proceß der Schwefelsäurebildung eingeleitet wird. Derselbe setzt sich fort in der Hauptkammer G sowie in den hintern Kammern I und M, welche durch die Rohre F, H und K in Verbindung stehen. Ein Dampfkessel R dient, um in die Kammern oben durch die Oeffnungen SS von Zeit zu Zeit Wasserdampf einzublasen. Dem unbetheiligten Stickstoff ist der Ausweg durch den Schlot PO gestattet. Der Theorie gemäß sollte das einmal gebildete Stickoxydgas hinreichen, um ins Unendliche schweflige Säure überzuführen in Schwefelsäure. Unvermeidliche Verluste machen jedoch eine Erneuerung der Zufuhr von Salpetersäure nöthig, von der man 4—6 Pfd. braucht, um 100 Pfd. Schwefel in Schwefelsäure zu verwandeln.

Wie ersichtlich, liegt die Hauptkammer G am tiefsten, und in ihr fließt aus allen Kammern die in denselben gebildete Schwefelsäure zusammen; aus C und E durch die Leitung gg. Das hier sich ansammelnde

Product, Kammersäure genannt, ist eine mit Wasser verdünnte Säure, welche concentrirt werden muß. Zu diesem Zwecke wird sie anfänglich in Bleipfannen erhitzt, wodurch ein Theil des Wassers verdampft; sobald jedoch ihr Siedepunkt 200° erreicht, greift die Säure das Blei an. Sie wird nunmehr in eine Destillirblase von Platin B (Fig. 7) gebracht und darin weiter erhitzt. Der entstehende Wasserdampf entweicht durch das Helmrohr C; sobald ein in die Blase eingelassenes Thermometer die Temperatur von 338° anzeigt, hat die Säure die erforderliche Concentration erreicht, und es wird der Hahn r des Hebers II geöffnet, der aus einem stets mit Schwefelsäure gefüllten Platinrohr besteht und durch welchen die Säure abfließt. Das Heberrohr ist mit Wasser umgeben, um die Säure abzukühlen. Durch ein sinnreiches bewegliches Heberwerk v läßt man von S her aus der Bleipfanne frische Säure durch den Sperrtrichter U nachfließen. Die zu dieser Operation verwendeten Platinkessel sind sehr theuer, und man bedient sich daher jetzt wieder häufiger der gläsernen Retorten oder Flaschen zum Concentriren der Schwefelsäure, wie Fig. 8 uns eine solche von 136 Liter Inhalt zeigt, die in einem Sandbad sitzt. Dieselbe steht durch ein gebogenes Glasrohr mit einer bleiernen Vorlage C in Verbindung, zur Aufnahme des Destillats. Eine Anzahl solcher Vorrichtungen wird durch ein gemeinschaftliches Feuer geheizt.

Die Schwefelsäure H_2SO_4, auch Schwefelsäurehydrat oder englische Schwefelsäure genannt, hat das specifische Gewicht 1,85 und ist eine farb- und geruchlose Flüssigkeit von höchst saurer ätzender Beschaffenheit und daher äußerst gefährlich. Ihre Anwendung ist eine sehr ausgedehnte, indem sie insbesondere zur Darstellung fast aller andern Säuren dient.

Vornehmlich in Sachsen wird durch Destillation aus dem Eisenvitriol die braune Rauchende Schwefelsäure, auch Vitriolöl genannt, gewonnen. Dieselbe ist ein Gemenge von wasserfreier Schwefelsäure (Schwefelsäure-Anhydrit, SO_3) mit Schwefelsäurehydrat ($2 H SO_4$) und dient hauptsächlich zur Auflösung des Indigos, der von letzterer nicht verändert wird.

Indem wir noch einiger Verbindungen des Schwefels zu gedenken haben, kommen wir zurück auf einige Abbildungen der Tafel 3 unsers Atlas.

Zunächst verdient der Schwefelwasserstoff H_2S unsere Aufmerksamkeit. Dieses durch seinen abscheulichen, an faule Eier erinnernden Geruch übel charakterisirte Gas bildet sich bei der Fäulniß schwefelhaltiger organischer Stoffe; es ist brennbar und sehr giftig. In der analytischen Chemie erweist es jedoch unschätzbare Dienste durch sein Verhalten gegen die schweren Metalle, welche es aus ihren Lösungen in Gestalt von eigenthümlich gefärbten, meist schwarzen Niederschlägen ausscheidet. Es dient daher nicht nur als ein qualitatives Erkennungsmittel zur Entdeckung der Gegenwart eines solchen Metalls, sondern erforderlichenfalls zur gänzlichen Entfernung desselben.

Zu diesem Zweck bereitet der Chemiker den Schwefelwasserstoff, indem er Schwefeleisen FeS übergießt mit verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure. In den großen Unterrichtslaboratorien hält man dieses Gas vorräthig in Gasometern, von welchen Zuleitungsröhren mit verschließbaren Hähnen dasselbe an Ort und Stelle führen. Beim Verbrauch in kleinerm Maßstabe empfehlen sich Apparate, die jederzeit zur Entwickelung von Schwefelwasserstoff parat sind und die ihre Thätigkeit von selbst einstellen, sobald dieselbe nicht mehr erfordert wird. Ein solcher ist Taf. 3, Fig. 10 abgebildet. Zur Instandsetzung desselben wird zuerst in den mittlern Ballon durch die Oeffnung d geschmolzenes Schwefeleisen in haselnußgroßen Stücken eingebracht und sodann ein Glasrohr mit geöffnetem Hahn eingesetzt. Der obere Trichterballon paßt luftdicht in die Mündung c. Durch seine Oeffnung wird die Säure eingegossen, bis sie den mittlern Ballon etwa halb anfüllt, und nunmehr der Hahn geschlossen. Es beginnt die Entwickelung von Schwefelwasserstoffgas, welches allmählich den mittlern Ballon anfüllt und endlich die Säure durch die untere Oeffnung des Trichterballons in diesen hinaufdrückt, wie das Bild zeigt. Mit der Verdrängung der Säure aus dem Mittelballon hat aber die Weiterentwickelung des Gases ein Ende, und der Apparat ist zum Gebrauch fertig. Es genügt die Oeffnung des Hahns, um das Gas durch die an das Kautschukrohr angefügte Glasröhre in die zur Untersuchung bestimmte Flüssigkeit treten zu lassen. In dem Maße, als Gas aus dem Mittelballon austritt, steigt die Säure zu demselben auf und erzeugt aufs neue dessen Entwickelung.

Denselben Dienst leistet der viel einfachere Apparat Fig. 11. In die Flasche A wird zuerst eine die untere Oeffnung übersteigende Schicht von grobem Holzkohlenpulver gebracht und hierauf Stücke von Schwefeleisen aufgefüllt. Alsdann wird der geschlossene Glashahn R aufgesetzt und A mit der leeren Flasche B durch ein Kautschukrohr in Verbindung gebracht und letztere mit der Säure gefüllt. Beim Oeffnen des Hahnes R dringt die Säure durch das Kohlenpulver und steigt in A bis zur halben Höhe, wodurch die Gasentwickelung beginnt. Nun wird der Hahn geschlossen; das Gas treibt die Säure wieder zurück nach B, worauf dessen Entwickelung aufhört und der Apparat zum Gebrauch fertig ist. Bei beiden Apparaten wird Eintritt und Gang der Gasentwickelung regulirt einerseits durch den Luftdruck, andererseits durch die Spannung des Schwefelwasserstoffgases.

Als elegantes Experiment mag noch die Analyse des Schwefelwasserstoffs angeführt werden. In den kürzern Schenkel einer Glasröhre (Fig. 14) wird etwas Kalium gebracht, dieselbe mit Quecksilber gefüllt und sodann ein abgemessenes Volumen Schwefelwasserstoff in derselben aufsteigen gelassen. Beim Erhitzen des Kaliums vermittels der Lampe verbindet sich der Schwefel mit dem Kalium, und es bleibt reines Wasserstoffgas übrig, das gemessen wird.

Eine interessante Verbindung bildet der Schwefel mit dem Kohlenstoff; sie wird Schwefelkohlenstoff CS_2 genannt und entsteht, wenn Schwefeldampf über glühende Kohlen geleitet wird. Es geschieht dies fabrikmäßig unter Anwendung des Apparats Fig. 19. Ein aufrecht stehender Cylinder A aus Gußeisen wird durch die weitere Oeffnung E mit Stücken von gutgetrockneter Holzkohle angefüllt und verschlossen. Derselbe befindet sich inmitten eines Ofens CC, der in Brand gesetzt wird. Sobald der Cylinder glüht, schiebt man in die engere Oeffnung von E Schwefel in das Rohr c, der sofort schmilzt und herabfließt, worauf er, in Dampf verwandelt, durch die hohe Schicht glühender Kohle streicht und mit ihr sich verbindet. Selbstverständlich sind die Oeffnungen EE durch Pfröpfe verschlossen worden und das entstandene äußerst flüchtige Product gelangt in den vorgelegten Ballon I, wo ein Theil desselben sich verdichtet und durch den Hahn K in die weitern Vorlagen L und O übergeführt wird. Ein anderer Theil wird, indem er dampfförmig weiter durch das Rohr PP und den Kühlapparat Q geht, verdichtet und in S aufgesammelt.

Als Product wird aus den verwendeten Stoffen,

die beide feste, unlösliche Körper sind, der Schwefelkohlenstoff in Gestalt einer wasserhellen Flüssigkeit gewonnen, die das Licht so stark bricht, daß ein damit gefülltes Prisma die prachtvollsten Farben zeigt; derselbe ist brennbar, etwas schwerer als Wasser, riecht höchst abscheulich und siedet schon bei 15°. Diese außerordentliche Flüchtigkeit macht ihn sehr geeignet, in Vorlesungen die bei rascher Verdunstung eintretende Kälte nachzuweisen. Auf ein Bretchen gießt man einige Tropfen Wasser, setzt in dieses eine kleine Platinschale, die etwas Schwefelkohlenstoff enthält; durch Blasen mit dem Balg beschleunigt man dessen Verdunstung, und in wenig Augenblicken ist die Schale festgefroren.

Der Schwefelkohlenstoff löst Schwefel, Phosphor, Harze, Kautschuk, Fette und Oele, und wird zur Gewinnung und Reinigung derartiger Stoffe, insbesondere zur Vulkanisirung des Kautschuks verwendet.

5. Phosphor.

Der **Phosphor**, P=31, wurde gegen das Ende des 17. Jahrhunderts von goldmachenwollenden Laboranten entdeckt, die keine Ahnung haben konnten, daß dieser Stoff, der damals mit unsäglicher Mühe dargestellt und Goldes werth bezahlt wurde, heutigentags in der ärmsten Hütte in Gestalt der Zündhölzer als Gegenstand des täglichen Verbrauchs eingeführt ist.

Die Natur bietet dieses Element nur als **Phosphorsäure** P_2O_5, welche in Verbindung mit Kalk einige Minerale bildet, deren bekannteste der **Apatit** und der **Phosphorit** sind. Ihre Verbreitung ist gering, doch hat bei stets zunehmender Wichtigkeit derselben die eifrige Nachforschung zur Entdeckung größerer Phosphoritlager, u. a. des von Limburg an der Lahn, geführt. Die Verwitterung solcher Minerale vertheilt den phosphorsauren Kalk in der Erdoberfläche, wo er, von den Pflanzen aufgenommen, insbesondere in den Samen der Gräser, Getreide und Hülsenträger sich vorfindet. Dem Thiere als Nahrung dienend, führen sie den phosphorsauren Kalk über in dessen Körper, wo er das Knochengerüst bildet. Ueberdies enthalten die Gehirn- und Nervensubstanz, sowie der Muskel und der Urin etwas Phosphor. Einen solchen Umweg legt also der Phosphor zurück, bis der Fabrikant in den Knochen das alleinige Rohmaterial erhält, aus dem er ihn darstellt.

Die Fabrikation des Phosphors beginnt mit dem Brennen der Knochen, wodurch die in denselben enthaltene Leimsubstanz zerstört wird; es geschieht dies in Schachtöfen, die Aehnlichkeit mit den Kalköfen haben. Dabei hinterbleibt die weißgebrannte, poröse Knochenasche, die sich leicht zu Pulver mahlen läßt, das in einem hölzernen Bottich mit 70 Procent etwas verdünnter Schwefelsäure angerührt wird. Die Schwefelsäure entzieht der Knochenasche zwei Drittel ihres Kalkgehalts und scheidet denselben in Gestalt von unlöslichem Gips ab; die verbleibende Auflösung enthält das letzte Drittel Kalk, verbunden mit Phosphorsäure; sie wird anfänglich in Bleipfannen für sich allein eingedampft, später vermischt mit grobem Pulver von Holzkohle in eisernen Kesseln, und zuletzt bei schwacher Glühhitze völlig eingetrocknet. Zwölf bis funfzehn Pfund dieser getrockneten Masse werden in eine flaschenförmige Retorte von feuerfestem Thon gefüllt, deren in einem sogenannten doppelten Galerenofen (Taf. 7, Fig. 11) zwei Reihen von je 18 Stück mit zugewendetem Bodentheil liegen und von einem nach der Längenachse durchziehenden Feuer bis zum Hellrothglühen erhitzt werden. In dieser hohen Temperatur wirkt die Kohle zersetzend auf die Phosphorsäure, der sie den Sauerstoff entzieht; der freiwerdende Phosphor entweicht als Dampf, gemengt mit brennbaren Gasen. Nach einigen Stunden erscheint bei der Vorlage eine weißblaue Flamme, deren Uebergang in blendendes Weiß den Beginn der Destillation anzeigt. Die Vorlage besteht aus zwei durch Hälse verbundenen Glocken von Steingut, die in mit Wasser gefüllten Untersätzen stehen. In letztern verdichtet sich der Phosphor und kann mit Leichtigkeit herausgenommen werden.

Um Coak und Steinkohle als Heizmaterial verwenden zu können, hat man auch den Oefen zur Destillation von Phosphor die in Fig. 12 im seitlichen Durchschnitt dargestellte Einrichtung gegeben. Aehnlich wie bei der Erzeugung des Leuchtgases liegen hier fünf Thoncylinder zu zwei und drei übereinander, in welche das Gemisch von Kohle und phosphorsaurem Kalk eingebracht wird. Von jedem mündet ein Rohr in eine oben gewölbte, unten offene Stürze b von einem Meter Länge, welche durch Röhren mit einem ähnlichen davorstehenden Gefäß b in Verbindung steht, das einige Oeffnungen zum Entweichen der Gase hat. Beide stehen in einer Rinne c, durch welche kaltes Wasser fließt, das durch eine schmale Oeffnung ganz unten an der vordern Seite eintritt und durch eine etwas höher angebrachte Oeffnung β an dem hintern Ende austritt (s. Fig. α und β neben Fig. 11). Der in dieser als Vorlage dienenden Vorrichtung verdichtete Phosphor kann so von dem durchfließenden Wasser nicht hinweggeführt werden.

Der rohe Phosphor ist unrein, roth, braun und schwarz gefärbt; er wird gereinigt, indem man ihn unter Wasser geschmolzen durch sämisch Leder preßt oder mit Sand vermischt einer nochmaligen Destillation unterwirft; 136 Pfd. Retortenfüllung liefern 21 Pfd. rohen und 17 Pfd. gereinigten Phosphor, der wachsweich, blaßgelb und durchsichtig ist. In den Handel kommt er meist in Gestalt von kleinfingerdicken Stangen. Diese Form erhält er durch Schmelzen in einem Trichter c, Fig. 13, der in einem Wasserbade a sich befindet. Beim Oeffnen des Hahns bei b fließt der Phosphor in eine angesetzte Glasröhre, die in einer Kufe mit kaltem Wasser sich befindet, wodurch der Phosphor erstarrt und ein wenig aus der Glasröhre hervortritt. Zieht man die Phosphorstange heraus, so fließt geschmolzener Phosphor nach und erstarrt, sobald er in das kalte Wasser kommt, sodaß man sämmtlichen Phosphor wie einen Draht aus c ziehen kann.

Der Phosphor dient fast ausschließlich zur Anfertigung der Zündhölzer, und bei dem ungeheuern Verbrauch derselben hat seine Fabrikation große Verhältnisse angenommen und ist sein Preis bis unter 1 Thlr. für das Pfund gesunken. Das in Frankreich angestrebte Verfahren, denselben direct aus dem vom Mineralreich gelieferten Phosphorit durch Zersetzung desselben mittels Kieselsäure (Sand) und Kohle in Schachtöfen vorzunehmen, verspricht denselben noch billiger zu liefern. Es läßt sich alsdann erwarten, daß der gewöhnliche, giftige und leicht entzündliche Phosphor in den Zündhölzern gänzlich verdrängt wird durch Ueberführung desselben in **rothen** oder **amorphen Phosphor**, der weder giftig noch leicht entzündlich ist und beim Reibzeug der schwedischen Reibzünder bereits verwendet wird.

Wenn auch technisch von keiner Bedeutung, so ist doch das **Phosphorwasserstoffgas** interessant dadurch, daß es im Moment seines Zusammentreffens mit Luft sich entzündet, mit leuchtender gelber Flamme unter Bildung weißer Nebelringe verbrennt, wie Taf. 3, Fig. 15 solche zeigt, wo aus dem Gasentwickelungsrohr kleine Blasen von diesem Gase aus dem Wasser aufsteigen.

Die Retorte ist nahezu angefüllt mit schwacher Kalilösung, in welcher etwas Phosphor sich befindet. Beim Erhitzen derselben beginnt die Entwickelung des Phosphorwasserstoffgases.

Man kann diese Erscheinung auch auf andere Weise hervorrufen. In den Boden eines Tiegels (Fig. 17) wird ein Loch gebohrt und in dieses der Hals eines kleinen Kolbens eingekittet, der Phosphor enthält. Hierauf füllt man den Tiegel mit Stückchen von Kalk, bedeckt und bringt ihn durch Umgebung mit glühenden Kohlen in lebhaftes Glühen; sobald dies erreicht ist, legt man einige glühende Kohlen unter den Kolben, wodurch der Phosphor verdampft und mit dem Kalke in Berührung kommend die Bildung von Phosphorcalcium bewirkt. Wird nach dem Erkalten ein Stückchen des letztern herausgenommen und ins Wasser geworfen, so steigen alsbald aus demselben kleine Blasen von Phosphorwasserstoff auf, welche sich entzünden. Zugleich verbreiten sie den eigenthümlichen Geruch dieses Gases nach faulen Fischen.

In beiden Fällen beruht dessen Bildung auf der Zersetzung von Wasser, dessen Wasserstoff mit dem Phosphor das selbstentzündliche Gas bildet, während sein Sauerstoff mit Phosphor zu unterphosphoriger Säure sich verbindet, die mit dem Kali oder Kalk sich vereinigt.

6. Arsen.

Arsen, As = 75, nennt der Chemiker das metallähnliche Element, das mit Sauerstoff verbunden die arsenige Säure AsO_3 bildet, dies furchtbare, unter dem Namen Arsenik nur allzu bekannte Gift. Das Arsenmetall findet sich im Mineralreich gediegen, jedoch häufiger in Verbindung mit Eisen und andern Metallen, aus der es durch Erhitzen in Gestalt kleiner, schwarzgrau glänzender Scheiben (auch Kobaltkuchen genannt) gewonnen wird. Das Arsen läßt sich leicht und unter Verbreitung eines charakteristischen Knoblauchgeruchs in Dampf verwandeln. Geschieht dies unter geeignetem Luftzutritt, so oxydirt es sich zu einem weißen Sublimat (Giftmehl) von Arsenik, das gesammelt und in einem Kessel erhitzt zu einer glasigen Masse erweicht, die später ein porzellanartiges Ansehen annimmt. Dasselbe hat eine nicht unbedeutende Verwendung bei der Glasfabrikation und in der Farbentechnik.

Hier gedenken wir der analytischen Methoden, welche gestatten, das Vorhandensein von Arsen höchst genau und sicher nachzuweisen, wie dies insbesondere bei vermutheten Vergiftungsfällen von höchster Wichtigkeit ist. Hat sich bei einem solchen ein verdächtiger weißer Körper vorgefunden, so genügt ein Körnchen von der Größe eines Zehntel Stecknadelkopfes zur Beweisführung. Dasselbe wird in die ausgezogene Spitze a einer Glasröhre (Taf. 3, Fig. 12) gebracht und davor ein kleiner Splitter von Holzkohle eingeschoben, die man mit der Lampe glühend macht. Hierauf wird die in der Spitze befindliche Probe erhitzt; bestand dieselbe wirklich aus Arsenik, so verwandelt sich letzterer in Dampf, der in Berührung mit glühender Kohle an diese seinen Sauerstoff abgibt, während metallisches Arsen in Gestalt eines schwarzglänzenden Ringes bei c sich anlegt.

Weit empfindlicher ist das Verfahren, wenn Arsenik in Lösung sich befindet, was in Vergiftungen bei Getränken, Speisen, dem Mageninhalt u. s. w. der Fall sein kann. Die zu untersuchende Flüssigkeit wird mit etwas Zink in eine Gasentwickelungsflasche a (Fig. 13) gebracht und Schwefelsäure zugegossen; es entwickelt sich Wasserstoff, dem, wenn Arsenik vorhanden war, etwas Arsenikwasserstoff beigemengt ist. Die Gase streichen durch das Chlorcalciumrohr c, wodurch sie getrocknet werden; sie passiren alsdann ein zum Glühen erhitztes Glasrohr, wodurch der Arsenikwasserstoff sich zerlegt in metallisches Arsen, das als schwarzer Ring hinter der Flamme sich anlegt, und in entweichenden Wasserstoff.

7. Kohlenstoff.

Der Kohlenstoff, Carbo, C = 12, dieses wunderbare Element, das in der Gestalt von Kienruß als völligste Negation des Lichts in tiefster Schwärze uns entgegentritt, während es krystallisirt den Diamant bildet, aus dem blitzartig das in alle Farben gebrochene Licht hervorbricht — erhält seine ganz besondere Bedeutung dadurch, daß es der charakteristische, niemals fehlende Bestandtheil der organischen Welt ist. Nicht nur enthalten alle lebenden thierischen und pflanzlichen Wesen Kohlenstoff, sondern er ist auch in allen von solchen herkommenden Stoffen vorhanden, sodaß man das ganze ungeheuere Gebiet der organischen Verbindungen als die Chemie des Kohlenstoffs bezeichnet hat. Von wie hervorragendem wissenschaftlichen Interesse dieses in neuester Zeit vorzugsweise cultivirte Feld ist, so bietet der Kohlenstoff für sich und in seinen unorganischen Verbindungen in technischer Beziehung nur wenige bemerkenswerthe Seiten. Die Gewinnung von Kienruß, Lampenruß, Holz- und Steinkohle erfordern weder chemische Proceduren noch Apparate. Die Darstellung und Verwendung der Kohlensäure zur Bereitung moussirender Getränke ist früher bereits beschrieben worden. Es bleibt hiernach nur eine, aber die bedeutendste Industrie der Erzeugung der Kohlenwasserstoffgase, die Leuchtgasfabrikation, für unsere Betrachtung übrig.

Wo immer wir in der Natur oder in künstlichen chemischen Processen einer Verbindung des Kohlenstoffs mit Wasserstoff begegnen — stets ist sie hervorgegangen aus der Zersetzung organischer, vorherrschend pflanzlicher Stoffe. Es gibt deren zwei, die unsere Aufmerksamkeit verdienen, nämlich das leichte oder Einfachkohlenwasserstoffgas CH_2, dessen specifisches Gewicht 0,5 ist, und das schwere oder Doppeltkohlenwasserstoffgas CH von 0,9 specifischem Gewicht. Beide machen in wechselnden Verhältnissen den Hauptbestandtheil des consumirten Leuchtgases aus.

Das leichte Kohlenwasserstoffgas, auch Sumpfluft und Grubengas genannt, weil es sich in der Tiefe stehender Gewässer durch Zersetzung von Pflanzentheilen sowie in den Steinkohlengruben bildet, brennt mit schwach leuchtender Flamme; das Doppeltkohlenwasserstoffgas bildet dagegen eine glänzend leuchtende Flamme. Man hat das letztere auch Aethylengas und ölbildendes Gas genannt, weil es mit Chlor zu einer ölartigen Flüssigkeit sich verbindet. Beide Gase entstehen bei der trockenen Destillation organischer Körper, d. h. wenn ein solcher bei Abschluß der Luft erhitzt wird. Es lassen sich daher die mannichfaltigsten Stoffe zur Fabrikation von Leuchtgas verwenden, allein es hat dieselbe sich so vorherrschend auf die Steinkohle beschränkt, daß wir nur diese in Betracht nehmen.

In der Experimentalchemie dient zur Erläuterung des Zersetzungsprocesses der Steinkohle der folgende Versuch. Ein alter Flintenlauf wird in der Mitte durchschnitten und sein Zündloch vernietet. Man hat somit ein eisernes Rohr A (Taf. 5, Fig. 1), das mit gröblichem Pulver von Steinkohle angefüllt und in einem Rostofen bis zum Rothglühen erhitzt wird. In der Vorlage B sammeln sich ammoniakhaltiges Theerwasser und Theer, dessen flüchtigere Stoffe sich theilweise noch in C verdichten, während brennbare Dämpfe und Gase durch die aufgesteckte Röhre entweichen und

sich anzünden lassen. Als Rückstand enthält das Eisenrohr Coaks in Gestalt einer porösen, schlackigen Masse.

Die Hauptproducte der Destillation sind also: brennbare Gase und Dämpfe, Theerwasser und Theer; es sind dieselben, denen wir auch bei der Fabrikation im Großen begegnen. Nicht jede Steinkohle ist in gleicher Weise geeignet zur Gaserzeugung; denn wenn auch bei allen der Kohlenstoff der vorwaltende, über 80 Procent betragende Bestandtheil ist, so findet doch ein beträchtlicher Unterschied in ihrem Gehalt an Sauerstoff und Wasserstoff statt, welch letzterer zur Gasbildung das wesentliche Element ist. Im allgemeinen sind die beim Brennen zusammenbackenden Kohlen zur Gasgewinnung die geeignetsten. Es liefern 50 Kilo der nachbenannten Kohlen an Gas in englischen Kubikfußen: Zwickau 400, Ruhrkohle 500, Cannelkohle 600, Bogheadkohle 700, in runder Zahl, und hinterlassen 30—35 Kilo Coaks.

Alle Steinkohlen enthalten durchschnittlich 0,8 Procent Stickstoff und wechselnde Mengen von Eisenkies oder Zweifach-Schwefeleisen FeS_2, die ebenfalls an der Zersetzung sich betheiligen. Das rohe Leuchtgas ist daher ein Gemisch sehr verschiedener Gase, welche nach ihrem Werth für die Beleuchtung vier Gruppen bilden: 1) schweres und leichtes Kohlenwasserstoffgas, gutleuchtende Bestandtheile; 2) Kohlenoxyd- und Wasserstoffgas, schwach leuchtende, aber Hitze gebende; 3) Stickstoff- und Kohlensäuregas, verdünnende, die Leuchtkraft vermindernde; und 4) Ammoniak- und Schwefelwasserstoffgas, schädliche Bestandtheile, welche die Brauchbarkeit des Leuchtgases in dem Grade beeinträchtigen, daß sie durchaus entfernt werden müssen. Auch die Kohlensäure läßt sich aus dem rohen Gas entfernen, während wir kein Mittel besitzen, das Verhältniß seiner übrigen Bestandtheile zu ändern. Endlich sind demselben noch Dämpfe von Theer und flüchtigen Kohlenwasserstoffen, wie Benzol u. a., beigemengt. Die Fabrikation zerfällt demnach in die Erzeugung, in die Reinigung und Vertheilung des Leuchtgases.

Zur Erzeugung des Leuchtgases dient der Gasofen, Fig. 2 von vorn abgebildet. In demselben liegen fünf ◠förmige Retorten AA″ von gebranntem Thon zu drei und zwei übereinander. Sie werden mit Steinkohle in groben Stücken gefüllt und gemeinschaftlich geheizt. Aus dem vordern hervorstehenden Theile jeder Retorte führt ein Abführungsrohr HH aufwärts, das oben durch ein Kniestück e (Fig. 3) mit dem abwärtsgehenden Schenkel nn verbunden ist. Letzterer mündet in einen zur Aufnahme des Theers und Theerwassers bestimmten horizontalen, als Vorlage dienenden Kanal GG (Fig. 2). Den weitern Verlauf der Operationen verfolgen wir in Fig. 15, wo der Gasofen im seitlichen Durchschnitt sich darstellt, mit den Retorten CC′, dem Abführungsrohr T und der Vorlage B. Man ersieht hier die Art des Verschlusses der Retorten an ihrem hervorstehenden Kopftheil vermittels aufgeschraubter Deckel, sowie die Art der Füllung bei der untern Retorte C′. Die Heizung der Gasretorten geschieht mit Steinkohle und mit den bei der Fabrikation selbst abfallenden Coaks. Ihre Führung ist von wesentlichem Einfluß auf die Menge und Beschaffenheit des erzeugten Gases; es empfiehlt sich, die eingeführte Kohle möglichst rasch zu erhitzen. In vier bis fünf Stunden ist die Destillation vollendet. Von größter Wichtigkeit ist es, daß die in der Retorte befindlichen Gase nur eine geringe Spannung besitzen, weil sonst ein Theil derselben durch die poröse Thonmasse entweicht und ein anderer Theil sich unter Abscheidung von Graphit zersetzt. Ja es hat sich für die Schnelligkeit und Ausgiebigkeit der Gaserzeugung sehr vortheilhaft erwiesen, den Druck innerhalb der Retorten künstlich zu vermindern. Es geschieht dies durch die sogenannten Exhaustoren, Vorrichtungen, welche in der Art von Luftpumpen wirkend, das Gas rasch aus der Retorte und weiter befördern. Als Beispiel diene der Exhaustor von Beal (Fig. 4), der Hauptsache nach aus einem fest aufsitzenden Cylinder A bestehend, in welchem ein zweiter Cylinder B excentrisch um seine Achse sich dreht und durch das Spiel der verschiebbaren Scheidewände bb die Gase in der von den Pfeilen angedeuteten Richtung aus der Retorte der Leitung zuführt. Zu genauerm Verständniß würde eine Reihe ins einzelne gehender Zeichnungen erforderlich sein.

Die nachfolgenden Vorrichtungen Fig. 15 dienen zur Reinigung des Gases. In B wird nicht aller Theer abgesetzt, vielmehr ein Theil in Dampfform, ein anderer mechanisch vom Gas weiter geführt. Indem dieses jedoch ein System verbundener Röhren D, die unten durch Wasser abgesperrt sind, passiren muß, gibt es seinen Gehalt an Theer und Ammoniak größtentheils ab. Ein Heberohr H dient zum Ablassen der damit gesättigten Flüssigkeit aus E. Von energischer Wirksamkeit zur Fortsetzung des Reinigungsgeschäfts erweisen sich die sogenannten Schrubber OO, Cylinder, die mit Coaks oder Scherben gefüllt sind, über welche durch eine besondere Vorrichtung beständig kaltes Wasser rieselt. Vortheilhaft erweist es sich, demselben etwas Schwefelsäure zuzusetzen, wodurch das Ammoniak dem Gas vollständig entzogen wird. Letzteres enthält jetzt als schädliche Beimischung noch Kohlensäure und Schwefelwasserstoff, und wird zu deren Entfernung in einen Behälter M geleitet, wo es wiederholt über die Reinigungsmasse, welche etagenweise auf Horden ausgebreitet ist, hinzustreichen gezwungen ist. Dieselbe besteht aus einem Gemenge von gelöschtem Kalk (Kalkhydrat) mit Eisenvitriol, dem zur Auflockerung etwas Sägemehl hinzugefügt wird; diese Stoffe zersetzen sich in Gips und Eisenoxydhydrat mit überschüssigem Kalkhydrat, welches die Kohlensäure aus dem Leuchtgas hinwegnimmt. Dessen Schwefelwasserstoff wird von dem Eisenoxydhydrat gebunden unter Bildung von Schwefeleisen. Wenn die Reinigungsmasse ihre Wirksamkeit verloren hat, so wird sie herausgenommen und einige Zeit an der Luft liegen gelassen, wodurch sie wieder wirksam wird, indem das Schwefeleisen durch rasch eintretende Oxydation sich in Eisenvitriol zurückverwandelt. Hierbei entgeht jedoch ein Drittel des vorhandenen Schwefels der Oxydation und wird ausgeschieden. Daher nimmt bei fortgesetztem Gebrauch der Reinigungsmasse ihr Schwefelgehalt zu und erreicht bis 60 Procent, sodaß dieselbe in der Schwefelsäurefabrikation Verwendung findet, indem man den Schwefel zu schwefliger Säure verbrennt (vgl. S. 21). In neuerer Zeit wird als Reinigungsmasse mit Vortheil ein Gemenge von Kalkhydrat mit natürlichem Eisenoxydhydrat, sogenanntem Rasenerz, verwendet.

Leuchtgas darf, in Kalkwasser geleitet, dasselbe nicht weißlich trüben, sonst enthielte es Kohlensäure, Bleilösung nicht schwärzen, sonst wäre es schwefelwasserstoffhaltig, und rothes Lackmuspapier nicht blau färben, was einen Gehalt an Ammoniak anzeigen würde. Hat es diesen Grad von Reinigung erreicht, so wird es nach dem Gasometer G geleitet, einem großen, aus Eisenblech luftdicht vernieteten Behälter, der bei geöffnetem Zugangsrohr S sich erhebt und mit Gas füllt,

und bei geöffnetem Abzugsrohr S' sich senkt und das Gas in die Leitung dem Consum zuführt.

Die nunmehr eintretende Vertheilung des Gases macht in der Leitung einen möglichst gleichbleibenden Druck desselben erforderlich. Ausgeübt wird derselbe im allgemeinen durch den Gasbehälter, allein er ist vielfachen Störungen ausgesetzt durch Wechselfälle, denen das Gas in seinem Laufe und beim Ausströmen unterliegt. Diesem Uebelstande wird begegnet durch Einschaltung des Druckregulators von Clegg (Fig. 5). Das Gas tritt, von dem Gasbehälter herkommend, durch das Rohr D ein und durch das Rohr C aus in die Leitung; diese beiden Rohre befinden sich in einem kleinen, mit Wasser beschickten Gasbehälter A, dessen Trommel B mit dem Druck steigt und fällt. An dieser Trommel ist ein Kegelventil F aufgehängt, welches in dem Ausschnitt E der Mündung des Austrittrohres C spielt. Das Gas kann nur durch den ringförmigen Zwischenraum zwischen E und F abströmen. Mit wachsendem Druck in der Leitung hebt sich nun die Trommel B, folglich auch F, und verringert diesen Zwischenraum, mit abnehmendem Druck sinkt F, und der Zwischenraum erweitert sich, es wird daher stets gleich viel Gas durch C abfließen und die Druckveränderung sich selbst ausgleichen.

Das Leuchtgas wird im Verkehr nach dem Volumen, und zwar nach englischen Kubikfußen berechnet und bezahlt; man bedarf daher einer Vorrichtung, womit das Gas ohne besondere Mühwaltung zuverlässig gemessen werden kann. Eine solche ist die bereits seit 1816 im Gebrauch befindliche Gasuhr, deren Einrichtung wir mit Hülfe der Fig. 6, 7, 8 zu erläutern versuchen. Dieselbe besteht aus einem Gehäuse, innerhalb dessen eine walzenförmige, leicht um ihre Achse drehbare Trommel B (Fig. 7) sich befindet und das mit einer Vorkammer E in Verbindung steht. Gehäuse, Trommel und Vorkammer sind bis zu einer bestimmten Höhe W mit Wasser gefüllt. Die Trommel wird durch das in dieselbe ein- und austretende Gas in Bewegung gesetzt, und jede Umdrehung entspricht einer gewissen Menge von durchpassirtem Gas. Die Einrichtung der Vorkammer ist durch Fig. 6 ersichtlich. Das von oben durch das Rohr E eintretende Gas gelangt zuerst in die kleine Abtheilung F, in dessen Oeffnung ein von dem Schwimmer S getragenes Vent i lispielt. Sinkt durch Verdunstung das Wasser unter den erforderlichen Stand W, so sinkt mit demselben auch der Schwimmer S und schließt das Ventil, und die Uhr steht still. Aus der kleinen Abtheilung F tritt das Gas in die größere G und geht abwärts in den hier sichtbaren Theil H eines zweischenkeligen Rohres, dessen anderer Schenkel, durch die Wand der Trommel gehend, das Gas in diese einführt. Die Trommel selbst ist in vier Abtheilungen oder Kammern getheilt, durch Scheidewände eigenthümlicher Art, welche in Fig. 8 dargestellt sind, nach Hinwegnahme des sie umgebenden Blechmantels. Jede Scheidewand besteht aus einem Querstück vw und zwei Seitenbacken. Die Backen der verschiedenen Scheidewände schließen nicht durchgehends dicht aneinander, sie bilden etwas voneinander abstehende Schlitze, wie zwischen d und b und zwischen w und a ersichtlich. Durch diese Schlitze tritt das Gas ein und aus; geschieht dies z. B. zwischen d und b, so nimmt dasselbe seinen Weg entlang dem Querstück vw nach dem an der Rückseite bei c befindlichen Schlitz. In dem Augenblick, wo die obere Oeffnung, der Umdrehung folgend, unter Wasser geht und geschlossen wird, tritt der untere Schlitz aus demselben hervor und entläßt das Gas in den über Wasser befindlichen Theil des Gehäuses, von wo es durch Z (Fig. 6) seinen Weg in die Leitung nimmt.

Die Achse der Trommel hat bei a (Fig. 7) eine Schraube ohne Ende, durch deren Umdrehung das Zahnrad P (Fig. 6) in Bewegung versetzt wird, dessen Achse durch eine Hülse sich bis in die Zählervorrichtung U erhebt und daselbst eine Anzahl Räder bewegt, mit Uebersetzungen durch Triebe, welche zuletzt die Zeiger tragen. Die Geschwindigkeit dieser Räder ist so geregelt, daß der Zeiger des einen die Einer, der des folgenden die Zehner, des dritten die Hunderter, des vierten die Tausender anzeigt. Man hat daher die Ziffern zu der Zahl, welche die durchpassirten Kubikfuße anzeigt, an den verschiedenen Zifferblättern abzulesen.

In den Gasfabriken hat man Gasuhren der größten Gattung, sogenannte Stationsuhren, welche dienen, um die Menge des erzeugten Gases zu registriren und zugleich den Gang der Gasentwickelung selbständig zu controliren. Die vordere Fläche einer solchen Uhr (Fig. 9) zeigt sechs Zifferblätter, sodaß hier die Kubikfuße des passirenden Gases bis zu Hunderttausenden abzulesen sind.

Auf der Achse der Trommel der Gasuhr ist eine Scheibe von Messing g aufgezogen, auf welcher eine gleich große Papierscheibe befestigt wird. Diese Scheibe dreht sich mit der Trommel der Uhr, ihre Umdrehung ist also ein Maß für die Menge des durchgehenden Gases. Ueber der Scheibe ist eine gewöhnliche Uhr k angebracht, als Messer der Zeit. Uhr und Scheibe sind durch den Bleistifthalter h verbunden, welcher mit dem obern Ende an den Minutenzeiger der Uhr angeschraubt ist und an dem untern Ende einen Bleistift trägt, dessen Spitze durch eine Feder gegen die Papierscheibe angedrückt wird. Würde der Stift von der Uhr allein bewegt, so würde er mit dem Zeiger von halber zu halber Stunde auf- und niedergehend eine Null beschreiben; stände er still und die Papierscheibe drehte sich allein, so würde der Bleistift auf dieser einen Kreis verzeichnen. Da sich beides bewegt, Bleistift und Papierscheibe, so beschreibt der Stift am Umkreis der Scheibe verschlungene Bogen. Wenn in derselben Zeit viel Gas erzeugt wird, so fallen die Bogen geschlossener aus, wenn wenig Gas erzeugt wird, offener. Verläuft die Gaserzeugung gleichmäßig, so fallen die verzeichneten Bogenlinien symmetrisch aus.

Es erübrigen noch einige Worte über die Einrichtungen zur Beleuchtung durch Gas, die sogenannten Brenner. Dieselben unterscheiden sich in Flach- und Rundbrenner. Bei erstern bildet die Oeffnung entweder einen Schlitz, wie bei dem Fledermausbrenner Fig. 12, wodurch das ausströmende Gas eine durch den Namen des Brenners sehr gut bezeichnete Flamme bildet — oder das Gas tritt aus zwei sich gegenüberstehenden Oeffnungen aus, was beim Fischschwanzbrenner Fig. 10 der Fall ist, wodurch ebenfalls eine flache, der Bezeichnung entsprechende Flamme (Fig. 11) entsteht. Bei den Rundbrennern oder Argandbrennern (Fig. 13) tritt das Gas aus einem Kreise von Löchern (Fig. 14), die einander nahe genug sind, daß die benachbarten Flammen in eine zusammenfließen; sie bedürfen stets eines Zugglases.

Die Lichtstärke des Gases hängt in erster Linie ab von dessen Zusammensetzung, insbesondere von seinem Gehalt an schwerem Kohlenwasserstoff; doch würde bei einem 10—12 Procent übersteigenden Gehalt an demselben das Gas in gewöhnlichen Brennern rußen und nur in Argendbrennern zu verwenden sein. Außerdem wird die Lichtstärke der Gasflamme bedingt durch

den Druck, unter welchem es ausströmt; ist dieser zu groß, so mischt sich am Ort der Ausströmung zu viel Luft bei, und der untere blaue Theil der Flamme vergrößert sich in nachtheiliger Weise. Durch zweckmäßige Stellung des Hahns läßt sich die Ausströmung reguliren.

Man rechnet für einen gewöhnlichen Brenner auf die Stunde einen Gasverbrauch von 4—5 Kubikfuß und verlangt, daß seine Lichtstärke der von 12—18 Wachskerzen gleichkommen soll, was durch die Photometrie genau ermittelt wird.

Obgleich das dem Kohlenstoff in gewissen chemischen Eigenschaften nahestehende Element Silicium ein Bestandtheil der allverbreiteten Kieselerde ist und somit einen hervorragenden Antheil an der Zusammensetzung der Erdrinde hat, so ist doch keine seiner Verbindungen für sich Gegenstand einer bemerkenswerthen chemischen Industrie, und dasselbe gilt für das Bor, das ohnehin eins der seltener vorkommenden Elemente ist.

8. Chlor.

Zu den nichtmetallischen Elementen gehört endlich eine aus dem Chlor, Brom, Jod und Fluor gebildete Gruppe von gemeinschaftlichem Charakter, von welchen jedoch nur das erstgenannte massenhaft auftritt und in der chemischen Technik eine Rolle spielt.

Das Chlor, Cl = 35, bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts entdeckt, ist doch erst zu Anfang des gegenwärtigen als ein Element erkannt worden. Es ist ein gelblich-grün gefärbtes Gas, $2^1/_2$mal schwerer als Luft, von ganz eigenthümlichem Geruch, die Athmungsorgane heftig angreifend und daher sehr giftig. Durch starken Druck läßt es sich in eine braungelbe Flüssigkeit verwandeln und in Wasser ist es ziemlich löslich. Das Chlor ist mit einer energischen Verwandtschaftskraft begabt. Nur wenige Körper widerstehen seiner zersetzenden Einwirkung, die sich besonders gegen organische Stoffe so eingreifend erweist, daß dieselben bei längerer Einwirkung durch Chlor völlig zerstört werden. Hierauf beruht jedoch die wichtige Anwendung des Chlors als Desinfectionsmittel, insbesondere aber zum Bleichen. Von seinen Verbindungen sind am wichtigsten das Chlornatrium $NaCl$, bekannt als unser gewöhnliches Salz oder Kochsalz, und die aus demselben dargestellte Chlorwasserstoffsäure ClH oder Salzsäure.

Ein Körper von so kräftiger Verwandtschaft, wie das Chlor sie besitzt, kann im unverbundenen Zustande im Bereich der Natur sich nicht vorfinden. In der That ist fast alles Chlor, das existirt, mit Natrium zu Kochsalz vereinigt, das theils in Gestalt von Steinsalz gebrochen wird, theils in den Salzquellen und im Meerwasser gelöst ist. Sein Gehalt an Chlor beträgt 60 Procent.

Wenn Kochsalz mit Schwefelsäure gemischt und erhitzt wird, so entwickelt sich Chlorwasserstoffgas, ClH, und es hinterbleibt schwefelsaures Natron, Na_2O, SO_3, in der Technik Sulfat genannt. Dieser Proceß wird im größten Maßstab als erster Act bei der Sodafabrikation vollzogen und liefert das Chlorwasserstoffgas als Nebenproduct, welches, in Wasser geleitet bis zu möglichster Sättigung, die wässerige Chlorwasserstoffsäure, gemeinhin Salzsäure genannt, bildet. Die Menge dieser nebenher gewinnbaren Säure erweist sich so außerordentlich, daß sie den Bedarf übersteigt, weshalb die Sodafabrikanten es vortheilhafter fanden, das salzsaure Gas in die Luft entweichen zu lassen, statt es in Wasser zu verdichten. Allein weit und breit wurde durch diese sauren Dämpfe die Vegetation geschädigt, sodaß in England gesetzliche Vorschriften den Fabrikanten zwingen, nur höchstens 5 Procent derselben in die Atmosphäre übergehen zu lassen. Um das Gas durch Wasser zu absorbiren, bedient man sich entweder der zweihalsigen Wulf'schen Flaschen von Steingut oder sogenannter Verdichtungsthürme.

Wir erblicken in Taf. 7, Fig. 4 eine Kette oder einen Strang solcher Flaschen, deren nicht unter 20—70 miteinander verbunden werden. a ist ein Trichter, durch welchen Wasser in die erste Flasche eingegossen wird, das durch die Seitenöffnungen ee von links nach rechts fließt, entgegen dem Strom des salzsauren Gases, das vom Sulfatofen (S. 29) kommend durch die gebogenen Schenkel cc sich bewegt. Das Wasser, stets aufs neue dem Gas begegnend, absorbirt dasselbe, es erreicht endlich die letzte Flasche und fließt in möglichst gesättigtem Zustande als rauchende Salzsäure aus derselben aus. Ungeachtet dieser zweckmäßigen Einrichtung entweichen bei diesem System noch 15 bis 20 Procent Gas. Die Verdichtung desselben geschieht am vollständigsten durch die erwähnten Thürme, hohle Cylinder von 12—38 Meter Höhe, die mit Stücken von Coaks gefüllt sind, über welche von oben herab Wasser rieselt, während das Gas von unten aufsteigt. Die Hauptschwierigkeit zur Errichtung derselben liegt in der Beschaffung eines Steins und Bindemittels, das hinreichend lange dem Angriff der entstehenden Salzsäure Widerstand leistet. Man wählt hierzu Sandsteine, die, erforderlichenfalls mit heißem Theer getränkt, durch Fugen verbunden und mit einem Mörtel aus Thon und Theer verkittet werden. Fig. 3 zeigt den Unterbau eines solchen Verdichtungthurms im Durchschnitt. A Fundament des Thurms; B unteres Stück desselben; rr Roste, auf welchen die Coaks ruhen; C Raum unterhalb derselben, in welchem sich die gebildete Salzsäure sammelt; i Abzugsrohr für dieselbe nach dem Behälter D; b Rohr zur Ueberführung der Säure von dessen Boden nach E, von wo sie abgelassen wird. Die gasförmige Säure gelangt vom Sulfatofen zuerst nach E und geht durch a und a' unter den Rost des Thurms.

Die also gewonnene Salzsäure wird in vielen chemisch-technischen Operationen verwendet, deren einige ihre Entstehung erst der Zeit verdanken, in der sie eins der wohlfeilsten Producte geworden ist. Ausschließlich dient sie jedoch zur Erzeugung des Chlors selbst sowie des Chlorkalks.

Wenn Salzsäure mit gepulvertem Braunstein, d. i. Mangan-Ueberoxyd MnO_2, erwärmt wird, so tritt eine Zersetzung ein, als deren Producte Manganchlorür $MnCl_2$, Wasser und freies Chlor auftreten, entsprechend der folgenden Gleichung: $MnO_2 + 4\,ClH = MnCl_2 + H_2O + Cl_2$. Die Hauptverwendung findet für diesen Zweck das Chlor zum Bleichen, allein es erweist sich die ebengenannte Bereitung desselben nicht vortheilhaft; man zieht hierzu die Anwendung des Chlorkalks oder Bleichkalks vor, der daher Gegenstand der Fabrikation ist.

Der Chlorkalk wird gebildet, wenn Chlorgas über Kalkhydrat, d. i. gelöschten Kalk, geleitet wird. Man bedarf deshalb einer größern Vorrichtung zur massenhaften Entwickelung des Chlors. Eine solche sehen wir Fig. 5 mit Hinweglassung der Vorderwand abgebildet. Der eigentliche Chlorentwickler ist ein aus massivem Sandstein gehauener Trog A, dessen Wände aa in eine Ummauerung ww mit einer 2 Centimeter dicken Schicht von Pech eingekittet sind; er ist oben durch eine Sandsteinplatte p geschlossen, durch welche der Braunstein (bis 10 Ctr.) eingebracht und auf einem Rost von Sandsteinprismen vertheilt wird; q ist eine Oeffnung zum Eingießen der Salz-

säure, v Oeffnung und u Rohr zum Einführen des heizenden Dampfes; s r Kanal zum Ableiten des Chlors in die Kalkkammer; zwischen b b breite Oeffnung zum Entleeren der Rückstände, verschließbar durch einen aufgeschraubten Deckel d. Alle genannten Theile sind aus Sandstein gefertigt und in Theer bis zur Sättigung gekocht worden. In Fig. 6 sehen wir den Gasentwickler in Thätigkeit aufgestellt; x y leitet heißen Dampf in denselben; das Chlor tritt aus z durch eine Leitung von Thon a in die Flasche b, um hier Wasser abzugeben und sich abzukühlen, und geht dann weiter durch d in die Kalkkammer. Dieselbe ist entweder, ähnlich den Schwefelsäurekammern, aus Bleiplatten oder aus in Theer gekochten Bretern angefertigt und enthält auf Hürden ausgebreitet zu trockenem Staube gelöschten Kalk, über welchen das Chlor hinstreicht unter Bildung von Chlorkalk.

Der Chlorkalk ist durchschnittlich ein Gemenge in gleichen Theilen von unterchlorigsaurem Kalk $CaCl_2O$, Chlorcalcium $CaCl_2$, Kalk CaO und Wasser H_2O; er ist ein weißes, leicht zusammenballendes Pulver von eigenthümlichem, chlorähnlichem Geruch. In Wasser zum Theil löslich, bildet er die Bleichflüssigkeit, auch Bleichwasser genannt, in welche die zu bleichenden Stoffe eingelegt werden. Beim Zusatz einer Säure entwickelt der Chlorkalk rasch eine reichliche Menge von Chlorgas.

Chemische Technologie der Metalle.

(Tafel 6 und 7.)

In der früher gegebenen Uebersicht der Elemente begegnen wir zuerst der Gruppe der leichten Metalle, also genannt, weil sie theils leichter, theils nur wenig schwerer sind als Wasser. Die bekanntern oder besser gesagt, die häufiger vorkommenden derselben sind das Kalium, Natrium, Calcium, Barium, Strontium, Aluminium und Magnesium. Als weitere charakteristische Eigenschaft derselben gilt ihre große Verwandtschaft zum Sauerstoff, sodaß man niemals eins derselben in metallischem oder gediegenem Zustand antrifft und die meisten, um sie vor Oxydation zu schützen, in Steinöl aufbewahrt werden müssen, das keinen Sauerstoff enthält. Ihre Darstellung ist erst in diesem Jahrhundert gelungen.

Die leichten Metalle spielen eine große Rolle in der Mineralogie, denn ihre Oxyde bilden unter dem Namen von Kali, Natron, Kalk, Baryt, Bittererde (oder Magnesia) und Thonerde, in Verbindung mit Kieselerde die Gesteine und Felsen, aus denen die Erdrinde zusammengesetzt ist. Weniger interessant erscheint dagegen die chemische Industrie derselben, nicht etwa, weil sie unbedeutend ist, sondern weil die darin angewendeten Operationen fast durchgehends sehr einfacher Art sind, wenig Aufwand von künstlichem Apparat bedürfen und der Beschreibung fast nur die Aufzählung von Glühen, Schmelzen, Mahlen, Lösen, Filtriren, Niederschlagen, Krystallisiren u. s. w. bieten, wie solche beispielsweise bei dem Kalk- und Cementbrennen, bei der Ultramarin-, Soda-, Salpeter- und Alaunfabrikation vorkommen. In andern Zweigen, wie in der Töpferei und Glasfabrikation, tritt dagegen der chemische Proceß in Betracht der Handarbeit und des Antheils, welchen die Kunst nimmt, fast gänzlich in den Hintergrund.

Die Gewinnung der schweren Metalle aus ihren Erzen bietet dagegen der Beschreibung mehrfach ein höchst anziehendes Feld, und es genügt der Blick in ein Hüttenwerk, um dies zu bestätigen. Allein auch hier ist der chemische Proceß in wenigen Grundzügen vorgezeichnet; die Hauptarbeit ist eine vulkanische, in der Führung von Schmelzöfen, Poch-, Hammer- und Walzwerken bestehende. Sie bildet mit der Förderung der Erze die Aufgabe des Berg- und Hüttenwesens, dem ein besonderer Theil des Atlas gewidmet ist.

Wir beschränken uns daher auf die Skizzirung der Gewinnung der populärsten Chemikalien aus dem Bereich der metallischen Elemente, nämlich der Pottasche, des Kochsalzes und der Soda.

Wenn Holzasche mit heißem Wasser übergossen wird, so besitzt die bräunlich gefärbte ablaufende Flüssigkeit, Lauge genannt, außer einem eigenthümlichen, als alkalisch bezeichneten Geschmack, die Eigenschaft, Fette aufzulösen, weshalb zur Zeit, wo Holz noch der allgemeine Brennstoff war, in jeder Haushaltung die Asche sorgfältig gesammelt und die aus ihr bereitete Lauge zum Waschen verwendet wurde. Es beruht dies darauf, daß die Asche der Pflanzen kohlensaures Kali K_2CO_3 enthält, das beim Eindampfen der Lauge als ein braun gefärbter Rückstand bleibt, der jedoch durch starkes Glühen oder Calciniren eine graulich-weiße, körnig-pulverige Masse bildet, welche Pottasche genannt wird.

In früherer Zeit, wo bei einer geringern Bevölkerung noch manche Theile von Deutschland mit ausgedehnten Wäldern bedeckt waren und das Holz aus Mangel an Bedarf und Transportmitteln fast keinen Werth hatte, da wurde inmitten derselben die Pottaschensiederei betrieben. Gefälltes Holz und Strauchwerk wurde in Gruben verbrannt, die Asche in eine Reihe von Tonnen mit doppeltem Boden gebracht und ausgelaugt, indem man die von der ersten abgehende Lauge auf die folgende goß und so fort, um eine möglichst concentrirte Lauge zu erhalten. Ein einfacher eiserner Kessel genügte zum Eindampfen derselben.

Heutzutage hat die Pottaschensiederei sich zurückgezogen nach dem südöstlichen Europa, Rußland und Amerika, und unterscheidet sich fast nur durch verbesserte Vorrichtungen zum Eindampfen von der alten, wie Taf. 6, Fig. 9 eine solche zeigt, wo eine flache Pfanne g durch in Zügen darunter hergehendes Feuer erhitzt wird, das zugleich den als Vorwärmer dienenden Kessel c umspielt. Wenn die Lauge zu einem dicklichen Brei eingesotten ist, läßt man sie auf die Sohle eines Flammofens ablaufen, wo sie, von oben erhitzt, zu einer harten Masse gebacken und nachher der Calcination unterworfen wird.

Die Pottasche ist ein chemisches Rohproduct, welches durchschnittlich 60 Procent kohlensaures Kali, außerdem schwefelsaures Kali, Chlorkalium, Kieselsäure und einige metallische Beimengungen enthält, die ihr mitunter ein bläuliches oder röthliches Ansehen geben. Sie ist um so vorzüglicher, je größer ihr Gehalt an ersterm ist, und findet in der Fabrikation von Salpeter, Glas und Seife eine unersetzliche Verwendung. Der Luft ausgesetzt, zieht sie aus derselben Wasser an und zerfließt, da sie in demselben höchst löslich ist. Die Pottasche läßt sich daher von den sie begleitenden Salzen reinigen, wenn man dieselbe mit wenig Wasser übergießt, die entstandene Lösung von den ungelöst bleibenden Salzen abzieht und verdampft, wodurch man ein schneeweißes kohlensaures Kali erhält.

Da die Gewinnung der Pottasche aus Pflanzenasche mit der sich ausdehnenden Cultur mehr und mehr in Frage gestellt wird, so war man bedacht, sie auf andere Weise zu bewerkstelligen, und es liegt nahe, an dieselbe Bezugsquelle zu denken, aus der die Pflanze das Kali bezieht, an die kalihaltigen Minerale des Erdbodens. Die vielverbreiteten Feld-

spathgesteine enthalten Kali, aber an Kieselsäure gebunden, in unlöslichem Zustande. Es ist jedoch der chemischen Technik noch nicht in befriedigender Weise gelungen, aus dem Feldspath kohlensaures Kali darzustellen, und dasselbe gilt für des letztern Gewinnung aus Chlorkalium, Aufgaben, deren Lösung mit der Zeit zu erwarten ist.

Wenn Pottasche mit Kohlenpulver vermischt in einem Apparat von Schmiedeeisen der Weißglühhitze ausgesetzt wird, so tritt eine Zerlegung ein. Das Kali tritt seinen Sauerstoff ab an Kohle, und freigewordenes Kalium, K = 39 destillirt über in eine mit Steinöl gefüllte Vorlage; dasselbe bildet weiß metallglänzende kleine Kugeln, die auf Wasser geworfen augenblicklich sich entzünden und mit röthlich-violetter Flamme verbrennen. Dieses merkwürdige Metall wurde erst im Jahre 1807 entdeckt.

Von den übrigen Salzen des Kaliums haben technische Bedeutung das Chlorkalium KCl, das schwefelsaure Kali K_2SO_4 und der Salpeter oder salpetersaures Kali KNO_3. Die beiden erstgenannten werden gegenwärtig in großer Menge aus dem sogenannten Abraumsalz einiger Salzlager gewonnen, von welchen das bei Staßfurt das bedeutendste ist. Dieses Salzlager ist der Rückstand eines eingetrockneten Meeres und enthält dessen Salze in einer ihrer Löslichkeit entsprechenden Reihenfolge, sodaß zu unterst der schwer lösliche Gips liegt, worauf ein mächtiges Lager von Steinsalz (Chlornatrium NaCl) folgt, über welchem die etwa 50 Meter starke Schicht von Abraumsalz liegt, also genannt, weil es früher als werthlos betrachtet und abgeräumt wurde. Fig. 1 dient zur Veranschaulichung der beim staßfurter Salzlager sich vorfindenden Verhältnisse: e Steinsalz, dd Abraumsalz, c Mergelschicht.

Die Schicht des Abraumsalzes besteht wieder aus einer untern Region, 90 Procent Steinsalz mit Polyhalit (aus Gips, schwefelsaurer Magnesia und Kali bestehend) enthaltend; einer mittlern, 60 Procent Steinsalz mit Kieserit (schwefelsaure Magnesia) enthaltend, und einer obern Region, 25 Procent Steinsalz und Carnallit (aus Chlorkalium und Chlormagnesium bestehend) enthaltend. Die Abraumsalze finden eine wichtige Verwendung als Dungsalz und werden ausgebeutet zur Gewinnung von Chlorkalium und schwefelsaurem Kali, welch ersteres zur Salpeter- und letzteres zur Alaunfabrikation benutzt wird.

Das bereits mehrfach angeführte Kochsalz, seiner chemischen Zusammensetzung entsprechend Chlornatrium NaCl genannt, hat in erster Linie seine altberechtigte Bedeutung als unentbehrliches Nahrungsmittel. Wie gering auch die Menge desselben erscheinen mag, die wir tagtäglich den Speisen zusetzen, so ist dieselbe doch von wesentlichem Einfluß auf unser Wohlbefinden, und die Salzsteuer, wohlberechnet, insofern niemand sich ihr entziehen kann, ist keineswegs wohlberechtigt, da Salz ein Bedürfniß auch des Aermsten ist. Nicht überall hat die Natur dem Menschen, der im Durchschnitt jährlich 16 Kilo desselben bedarf, das Kochsalz genügend geboten. Man erzählt von Oertlichkeiten an der Goldküste von Afrika, wo für eine Steinsalzplatte, so groß, daß ein Neger mit beiden Füßen auf derselben zu stehen vermag, der ganze Neger feil ist, und daß die höchste dem Gast erwiesene Gunst darin besteht, daß ihm erlaubt wird, zu lecken an einem Stück solchen Salzes, das der Gastfreund wie ein Amulet am Halse trägt.

Im übrigen spendet uns die Natur das salzige Labsal in dreierlei Weise, in Gestalt eines festen Minerals als sogenanntes Steinsalz, gelöst in Quellwasser als Salzsole, und endlich im Meereswasser, durch dessen Verdunstung an der Luft das Seesalz gewonnen wird.

Der Salzgehalt der Solen sinkt von 32 Procent, welchen die lüneburger, die stärkste aller bekannten Solen, besitzt, bei andern herab bis unter 5 Procent, die alsdann die Arbeit zur Salzgewinnung nicht mehr lohnen. Dieselbe wird hauptsächlich vertheuert durch den Aufwand des zur Verdampfung des Wassers erforderlichen Brennstoffs. Man ist daher bemüht, schwächere Solen durch freiwillige Verdunstung, die sogenannte Gradirung, möglichst zu concentriren, bevor sie auf die Siedepfannen gebracht werden. Hierzu dienen die Gradirhäuser oder Gradirbaue, wovon Fig. 2 eine Abbildung gibt. Ein aus Holz gezimmertes Gerüst von mehrern Stockwerken CC ist ausgefüllt mit aufgeschichtetem Reisig von Schwarzdorn. Durch ein Pumpwerk wird die Sole in den zu oberst befindlichen flachen Behälter D gebracht, von wo sie aus den Hähnen ee ausfließend über die Dornen sich ausbreitet und in einen untern Behälter A herabtröpfelt. Die lange Seite des Gradirbaues ist senkrecht auf die Richtung des herrschenden Windes gerichtet, und die durch denselben gehende Luftströmung nimmt einen Theil des Wassers aus der über das Dornreisig ausgebreiteten Sole hinweg, sodaß sie unten stärker ankommt, als sie oben aufgegossen wurde. Durch erneutes Hinaufpumpen und Herabfließenlassen wird dieselbe auf den siedwürdigen Grad gebracht.

In flachen Siedepfannen wird nunmehr die Sole durch ein darunter hinstreichendes Feuer erhitzt und weiter eingedampft, bis das Kochsalz in Gestalt kleiner Würfelchen, die sich zu Treppenpyramiden aneinander gruppiren, herauskrystallisirt.

Die Solen sind niemals reine Kochsalzlösungen, sie enthalten mehr oder weniger andere Salze, die gelöst bleiben, nachdem ersteres herauskrystallisirt und auf diese Weise die sogenannte Mutterlauge bilden, die Chlormagnesium, Chlorcalcium, schwefelsaures Natron u. s. w., darunter bei manchen Solen auch Verbindungen von Brom und Jod enthält und vornehmlich für Heilzwecke zu Bädern verwendet wird.

Das Kochsalz dient aber ferner als Grundlage der größten chemischen Industrie, als Rohmaterial zur Fabrikation der Soda, d. i. des kohlensauren Natrons $NaCO_3$. Gleich der Pottasche wurde die Soda bis zu Anfang dieses Jahrhunderts aus Asche gewonnen, jedoch durch Verbrennung gewisser an und im Meere wachsender Pflanzen, der sogenannten Salzkräuter und Tange. Außerdem wurde eine unreine Soda unter dem Namen von Trona aus den Salzseen Aegyptens und Armeniens in den Handel gebracht.

Beide Bezugsquellen sind heutigestags ganz in den Hintergrund getreten durch die Ueberführung des Kochsalzes in Soda. Die Auffindung des hierzu einzuschlagenden Wegs war seinerzeit für die Chemie keine leichte Aufgabe, und es bedurfte politischer Verwickelungen und ermunternder Preisgebote, um ihre Lösung herbeizuführen, welche 1790 von dem Franzosen Le Blanc gelöst wurde, jedoch mehr theoretisch als praktisch, da der eigentliche Aufschwung der Sodafabrikation seit Anfang der zwanziger Jahre in England durch James Mußpratt begründet wurde.

Dieselbe beginnt mit der Verwandlung des Kochsalzes in schwefelsaures Natron Na_2SO_4, in der Industrie Sulfat genannt, indem ersteres mit Schwefelsäure der Destillation unterworfen wird, was in den Sulfatöfen geschieht, wovon wir in Taf. 7,

Fig. 1 und 2 den Längs- und Querschnitt erblicken. Der Zersetzungsproceß geschieht in einer flachen Schale A aus Gußeisen, die mit feuerfesten Steinen überwölbt ist und in welche durch die Thür Z 6—14 Ctr. Kochsalz und etwa gleich viel Schwefelsäure durch ein Bleirohr eingetragen und durch Umrühren möglichst gut vermischt werden. Das hierbei unter heftigem Aufschäumen massenhaft sich entwickelnde *Chlorwasserstoffgas* ClH entweicht durch das Thonrohr C und wird, wie früher (S. 27) ausführlich beschrieben worden ist, zu wässeriger *Salzsäure* verdichtet. Zur völligen Zersetzung des Gemenges muß dasselbe jedoch stärker erhitzt werden und wird deshalb durch die Oeffnung n in die sogenannte Muffel B hinübergezogen. Letztere ist ein von feuerfesten Steinen begrenzter, breiter und flacher Raum; die auf dem Treppenrost a angelegte Feuerung zieht über dessen Decke in den Kanal ff und geht durch die Züge gg' unter dem Boden der Muffel zweimal hin und her und tritt endlich zwischen ii bei p unter die Schale A. Auf diese Weise empfängt die Muffel die stärkste Hitze, und indem durch drei seitliche Thüren die Masse öfter mit Krücken umgearbeitet wird, findet die vollständige Zersetzung statt; die hier noch ausgetriebene Salzsäure wird durch D nach den Verdichtungsvorrichtungen geführt.

Das erzeugte Sulfat ist ein weißes Pulver. Ein großer Theil desselben wird an die Glasfabrikation abgegeben, ein kleiner Theil durch Auflösung zur Krystallisation gebracht und als *Glaubersalz* in der Medicin verwendet, der größte Theil dagegen zu Soda weiter verarbeitet. Zu diesem Zweck wird ein Gemenge von durchschnittlich gleichen Theilen Sulfat und grobgepulvertem Kalk mit Holz- oder Steinkohle, deren Menge in verschiedenen Fabriken zwischen 40 und 170 Gewichtstheilen schwankt, in einen *Flammofen*, Fig. 7, eingebracht, und zwar zuerst auf die höhere Etage desselben D zum Vorwärmen und nachher auf den Schmelz- und Glühraum C zum Fertigmachen. Von dem über dem Rost A entzündeten Feuer kommend, wird die Flamme von der gewölbten Decke des Ofens auf die Masse geworfen und diese ins Glühen gebracht. Durch seitliche Thüren wird dieselbe vermittels eiserner Stangen und Krücken tüchtig umgerührt. Es ist hierzu durchschnittlich eine Stunde Zeit erforderlich, und bei Tag und Nacht anhaltender Arbeit werden in 24 Stunden 16, 24 bis 36 Beschickungen fertig gemacht.

Die aus dem Ofen gezogene Rohsoda ist eine graue Masse und enthält als Hauptbestandtheil 30—40 Procent kohlensaures Natron, außerdem Schwefelcalcium, Kalk und kohlensauren Kalk, von welch letztern Bestandtheilen die Soda durch Auslaugen getrennt wird. Hierbei ist es von Wichtigkeit, mit dem geringsten Wasseraufwand möglichst concentrirte Laugen zu erhalten, was durch folgendes Verfahren geschieht. Ein System von eisernen Kästen CC (Fig. 8) ist treppenartig aufgestellt und durch Heber tt in Verbindung gebracht; in dieselben werden vom Boden ab-abstehende Kasten mit Seitenlöchern a eingehängt, mit Sodaschmelze angefüllt und in den obersten Kasten frisches Wasser aufgegossen. Dasselbe kommt treppabwärts stets mit frischer Soda in Berührung und fließt gesättigt aus dem letzten Kasten durch den Hahn e in den Sammelbehälter R. Der oberste Kasten ist natürlich der zuerst ausgelaugte und wird durch den zweiten ersetzt, welchem treppauf die andern nachrücken, was vermittels der Querstangen und einer Hebevorrichtung an der Decke des Locals geschieht.

Läßt man eine heiß gesättigte Sodalösung langsam erkalten, so bilden sich schöne Krystalle dieses Salzes, welche 62 Procent Wasser enthalten. Diese *krystallisirte Soda* ist sehr rein von Beimengung anderer Salze, sie wird jedoch wenig fabricirt, da bei ihrer Versendung der Transport des Wassergehalts in Anschlag kommt. An der Luft verwittert die krystallisirte Soda, d. h. sie verliert ihr Wasser und zerfällt zu einem weißen Mehl.

Bei weitem der größte Theil der Sodalauge wird jedoch in eisernen Pfannen eingedampft und die erhaltene Salzmasse zur Austreibung alles Wassers in einem Flammofen calcinirt. Man erhält auf diese Weise die *calcinirte Soda*, welche an Reinheit der krystallisirten sehr nachsteht, denn sie enthält durchschnittlich in Procenten: 70—84 kohlensaures Natron, 1—12 Aetznatron, 8—10 schwefelsaures Natron, 3—4 Kochsalz, kleinere Mengen anderer Bestandtheile nicht gerechnet.

Der Verbrauch der Soda ist ein außerordentlich großer. Abgesehen von ihrer allgemeinen Verwendung in den Haushaltungen zum Waschen, wird dieselbe hauptsächlich in Anspruch genommen von der Seifen- und Glasfabrikation und unzähligen weitern chemisch-technischen Operationen. Die Sodafabrikation hat aber in der Entwickelungsgeschichte der Industrie eine so hervorragende Bedeutung gewonnen, weil mit ihrer Ausübung andere wichtige chemische Fabrikationen nothwendig zusammenhängen und dadurch Entstehung und Aufschwung erhielten, wie die der Schwefelsäure, Salzsäure, des Chlorkalks, die wiederum auf ganze Reihen anderer Industriezweige begünstigend einwirkten.

Chemische Technologie der organischen Verbindungen.

(Tafel 8 bis 10.)

Der Unterschied zwischen organischen und unorganischen Verbindungen ist bereits früher (S. 12) besprochen worden. Es wurde ferner ihrer großen Anzahl und Mannichfaltigkeit gedacht und hervorgehoben, daß die meisten aus den drei Elementen *Kohlenstoff*, *Wasserstoff* und *Sauerstoff* bestehen, wozu bei einer geringen Zahl als viertes Element noch der *Stickstoff* hinzutritt. Der Unterschied in den *Eigenschaften* der organischen Verbindungen besteht also nicht darin, daß sie verschiedene Elemente enthalten, sondern darin, daß in einem Molekül (S. 14) derselben eine ungleiche Anzahl von Atomen der genannten Elemente vorhanden ist und daß diese Atome verschiedenartig gruppirt sind. Es beruht hierauf die Eigenthümlichkeit, daß eine organische Verbindung sich in eine ganze Reihe von Verbindungen umzusetzen vermag, ohne Zuziehung eines neuen Elementes; die *Stärke* $C_6 H_{10} O_5$ verwandelt sich in Gummi $C_6 H_{10} O_5$, dieser in *Zucker* $C_6 H_{12} O_6$, dieser in *Weingeist* $C_2 H_6 O$, welcher endlich in *Essigsäure* $C_2 H_4 O_2$ übergeht. Wenn es dagegen sich darum handelt, das Kochsalz in Soda überzuführen, so haben wir im Vorhergehenden erfahren, daß hierzu noch andere Stoffe, nämlich Schwefelsäure, Kohle und Kalk zu Hülfe genommen werden müssen.

Charakteristisch für die organischen Verbindungen ist ferner die nahe Beziehung, in welcher die meisten zu unserm eigenen Körper stehen, sei es daß sie demselben als Nahrungs- oder Arzneimittel dienen. Daher kommt es, daß einige der großartigsten Industrien auf diesem Gebiet, wie die Brauerei, Brennerei, Bäckerei, Essig- und Zuckersiederei hervorgegangen sind aus der menschlichen Haushaltung. Sie sind deshalb geeignet, unser besonderes Interesse zu erregen, zumal als an denselben sich nachweisen läßt, welchen großen Einfluß

die Anwendung wissenschaftlicher Grundsätze aus der Chemie und Physik auf ihren Betrieb geäußert hat.

1. Bierbrauerei.

Die Bierbrauerei verwendet als Rohmaterial Gerste, Hopfen und Wasser. Ihre Aufgabe besteht darin, die in der Gerste enthaltene Stärke theilweise in Gummi, theilweise in Zucker überzuführen, letztern in Gärung zu versetzen und dem also erzeugten Getränk durch Beigabe eines bittern und aromatischen Stoffs Wohlgeschmack und größere Haltbarkeit zu verleihen.

Das Gerstenkorn besteht aus einer holzigen Hülle von unlöslichem Zellstoff und einem Mehlkörper, der etwa 60 Procent Stärke, 10 Procent sogenannter Eiweißstoffe und bis 15 Procent Feuchtigkeit enthält; beim Verbrennen hinterläßt es 2 Procent Asche, deren Hauptbestandtheil phosphorsaurer Kalk ist.

Die Bierbrauerei zerfällt in drei Hauptoperationen, in das Malzen, in das Würzekochen und in die Gärung.

Zur Bereitung des Malzes wird die Gerste in der sogenannten Weiche, einer großen ausgemauerten Cisterne, mit Wasser übergossen und tüchtig umgerührt. Hierbei schwimmen die tauben Körner oben auf und werden als nutzlos hinweggeschöpft. Nach 4—6 Stunden wird das Weichwasser abgezogen; es ist gelblich gefärbt, indem es aus der Gerste sogenannte extractive Stoffe aufgelöst hat, und nimmt leicht einen säuerlichen Geschmack und übeln Geruch an. Das Wasser muß daher rechtzeitig und öfter erneuert werden, und je nach Jahreszeit und Beschaffenheit der Gerste ist das Einweichen vollendet. Man erkennt es daran, daß die beträchtlich aufgequollenen Körner weich sind und daß beim Druck die Hülse leicht vom Körper sich löst.

Es folgt nunmehr das Wachsen oder Keimen des Malzes. Zu diesem Zwecke wird die geweichte Gerste auf die Malztenne gebracht, einen sorgfältig geplatteten Boden, der sich am besten in einem Erdgeschoß befindet, daher Malzkeller genannt, sodaß darin eine möglichst gleich bleibende 10—12° R. betragende Temperatur herrscht. Die Gerste wird entweder in Beete ausgebreitet oder auf kleine Haufen von 12—15 Centimeter gebracht, und es beginnt alsbald unter Entwickelung von Kohlensäure eine Erwärmung derselben einzutreten, welche in der Mitte eine Höhe von 17—20° R. erreicht und ohne Nachtheil 22° nicht übersteigen darf. Sowol deshalb, als auch um einen gleichförmigen Gang der Malzbildung zu erzielen, werden die Beete oder Haufen öfter gewendet oder umgestochen, sodaß der mittlere, wärmere Theil oben zu liegen kommt, ein wichtiges Geschäft, das viel Aufmerksamkeit und Geschicklichkeit erfordert und nach Umständen wiederholt wird. Hierbei findet die Entwickelung der Keime der Gerste statt, welche alsbald zum Vorschein kommen und die erforderliche Ausbildung gewonnen haben, wenn die Wurzelkeime anderthalb mal so lang sind als das Korn und der Blatt- oder Graskeim etwa halb so lang. Die Gerste ist jetzt in Malz verwandelt und greift sich wollig oder filzig an, und wenn man einige Körner davon aufnimmt, so hängt an denselben ihre vier- bis achtfache Menge.

Die wichtigste hierbei vorgegangene Veränderung ist jedoch eine innerliche. Aus den Eiweißstoffen der Gerste hat sich ein eigenthümlicher Körper, Diastas genannt, gebildet, der die Eigenschaft besitzt, die Stärke überzuführen in Stärkezucker, und zwar erstreckt sich dieses Vermögen auf eine viel größere Menge von Stärke als in jedem Gerstenkorn selbst vorhanden ist. Man kann sich von dieser Zuckerbildung leicht überzeugen, indem man einen Stärkekleister mit etwas geschrotenem Malz vermischt, in mäßiger Wärme stehen läßt. Nach einiger Zeit beginnt der steife Kleister mehr und mehr flüssig zu werden und sein fader mehliger Geschmack verwandelt sich in einen süßen, herrührend von dem entstandenen Zucker. Man bedient sich daher auch des Malzes in der Branntweinbrennerei mit größtem Vortheil, um den Stärkegehalt großer Massen von Kartoffeln durch Zusatz von etwas Malz in Zucker zu verwandeln.

Da während der Malzbildung ein kleiner Theil des Stärkegehalts der Gerste in Zucker übergeht, so besitzt das Malz selbst einen süßlichen Geschmack; dasselbe würde, in dem feuchten Zustande befindlich, alsbald weiter auswachsen und grüne Blattkeime bilden und der Zersetzung und Verderbniß anheimfallen, dem durch rasches Trocknen oder Darren des Malzes Einhalt geschehen muß.

Geschieht dies lediglich durch Ausbreiten des Malzes an der Luft, so wird das Product Luftmalz genannt; in der Regel wird jedoch durch Anwendung künstlicher Wärme das Darrmalz erzeugt. Nicht nur wird durch letztere ein vollkommenes Trocknen der Körner erreicht, sondern es erhält das Malz hierbei ein eigenthümliches Röstungsaroma, das dem Bier den geschätzten angenehmen Darrmalzgeschmack verleiht. Zu diesem Zwecke wird das feuchte, etwas abgewelkte Malz auf den Darrboden b (Taf. 8, Fig. 1) gebracht, der aus durchlochten Eisenplatten oder Drahtgittern besteht und der von unten aufsteigenden heißen Luft den Durchgang gestattet; dd sind Stützen des Darrbodens; cc abschließende Wände. Die Feuerung befindet sich bei f und die erhitzte Luft nimmt den durch die Pfeile bezeichneten Weg aufwärts; ein kleines Dach e verhindert das Herabfallen der getrockneten Malzkeime in die Feuerung; gg sind Züge, durch welche nach Bedarf kalte Luft zugelassen werden kann. Da hier die bei der Feuerung entstehenden Verbrennungsproducte der heißen Luft beigemischt sind, so wird eine solche Einrichtung Rauchdarre genannt und zu ihrer Feuerung kann nur trockenes hartes Holz oder Coaks verwendet werden, da der übelriechende Rauch anderer Brennstoffe, wie von Torf, Braun- oder Steinkohle, das Malz verderben würde. Der geringere Preis der letztgenannten macht jedoch ihre Verwendung wünschenswerth, was ohne Nachtheil geschieht, wenn die Feuerluft in Doppelreihen von Kanälen cc (Fig. 2) unter der Darrplatte i hin- und hergeführt wird und durch ein Kamin entweicht. Die leicht abfallenden Malzkeime werden durch eine Kornfege getrennt und dienen als Viehfutter.

Gutes Darrmalz muß eine lichtgelbe Farbe, den eigenthümlichen, angenehmen Malzgeruch besitzen und süß schmecken; es muß vollbauchig sein, auf Wasser schwimmen, beim Zerbeißen krachen und innen schön weiß aussehen. Hinsichtlich seiner Bestandtheile unterscheidet es sich von der Gerste darin, daß es etwas weniger Eiweißstoffe und etwas mehr Stärkegummi enthält; sein Gehalt an Stärkemehl ist ungefähr 4 Procent geringer, um welche dagegen sein Gehalt an Extractivstoffen zugenommen hat.

Zur Erzeugung dunkelfarbiger Biere wird auch sogenanntes Farbemalz angefertigt, indem man Gerste in Blechtrommeln stark röstet, bis zum Schwarzwerden, und solches dem Darrmalz zusetzt.

Zur Darstellung der Würze wird geschrotenes, d. i. durch Quetschwalzen in grobes Pulver verwandeltes Malz dem Einteigen oder Maischen unterworfen, worunter man dessen Behandlung mit Wasser in einer Temperatur versteht, bei der das Stärkemehl

durch die Einwirkung von Diastas in Zucker und Gummi sich verwandelt. Das hierbei eingehaltene Verfahren ist sehr verschieden, und es hängt davon ganz besonders der Charakter des erzeugten Biers ab, sodaß die verschiedenen Braumethoden in der Hauptsache auf verschiedenen Maischmethoden beruhen. Im wesentlichen lassen sich jedoch dieselben zurückführen auf zwei Hauptarten des Verfahrens. 1) Das Aufguß- oder Infusionsverfahren und 2) das Koch- oder Decoctionsverfahren. Ersteres ist in Norddeutschland, Belgien und England üblich, letzteres in Baiern und bei den anderwärts nach bairischer Art gebrauten Bieren.

Bei dem *Infusionsverfahren* wird das Malzschrot in den mit einem Seihbecken versehenen Maischbottich mit kaltem Wasser eingeteigt und bildet damit gehörig umgerührt eine dicke, breiartige Masse. Mittlerweile ist in dem benachbarten Braukessel Wasser zum Sieden erhitzt worden, von welchem man durch ein auf den Boden des Maischbottichs gehendes Rohr so viel in diesen überfließen läßt, bis die Temperatur der Maische im Sommer auf 40—50° R., im Winter auf 50—60° gebracht worden ist, bei welcher die Umwandlung der Stärke in Zucker und Gummi vor sich geht. Nach Verlauf von etwa einer Stunde wird die Maische dünnflüssig und nimmt eine bräunliche Farbe und entschieden süßen Geschmack an, alles Anzeichen der eingetretenen Veränderung. Sobald eine herausgenommene Probe durch Jodlösung nicht mehr blau gefärbt wird, sondern klar bleibt, ist diese Umwandlung der Stärke eine vollständige.

Man läßt nunmehr den flüssigen Theil der Maische, von jetzt an *Würze* genannt, durch den Seihboden in den *Grand*, d. i. ein tiefer stehendes Behälter abfließen, von wo sie später nach der Siedpfanne gebracht wird.

Die rückständige Maische erhält in ähnlicher Weise einen zweiten Aufguß, der eine schwächere, zu leichterm Bier verwendete Würze liefert, während der dritte Aufguß einen so geringen Gehalt besitzt, daß er nur zur Verarbeitung auf Branntwein oder Essig, oder zur Einteigung neuer Maische verwendbar ist.

Beim *Decoctionsverfahren* wird nachdem das Malzschrot eingeteigt ist, entweder ein Theil der Maische selbst in den Kessel gebracht, gekocht und wieder zurückgegeben in den Maischbottich, was man das *Dickmaischekochen* nennt, oder man unterwirft die vom Maischbottich abgelassene Flüssigkeit dem Kochen und bringt sie wieder in denselben zurück (*Lautermaischekochen*). Die Maische erhält hierdurch die zur Zuckerbildung erforderliche Temperatur. Es herrschen jedoch mannichfache Abänderungen in der Ausführung dieser Methoden.

Zum Durcharbeiten der Maische in den Maischbottichen dienen entweder Maischhölzer, Rührscheite, die mit der Hand geführt werden, oder in größern Brauereien *mechanische Rührwerke*, wie Fig. 4 ein solches zeigt, das in der Sedelmayer'schen Brauerei in München eingeführt ist. Durch einen sinnreichen Mechanismus drehen sich die beiden Flügelachsen gg und hh in entgegengesetzter Richtung, während zugleich durch eine langsame Umdrehung der Hauptachse cc das ganze System in dem Maischbottich in Bewegung ist.

Die Infusionswürzen unterscheiden sich von den Decoctionswürzen durch einen größern Gehalt an *Milchsäure* und werden leicht sauer; sie gehen ferner leichter und rascher in Gärung über als letztere, bei welchen durch das Kochen die Eiweißstoffe theilweise ausgeschieden worden sind und die sich vorzugsweise zu Lagerbieren eignen.

Wenn man die Würzen einkocht, so hinterbleibt das sogenannte *Malzextract*, von brauner Farbe und süßlichem Geschmack, wie es gegenwärtig als diätetisches Mittel häufig im Gebrauch ist. Seine Hauptbestandtheile sind Gummi und Zucker, welche beide durch die Gärung in Alkohol sich überführen lassen. Je mehr Extract eine Würze liefert, desto gehaltreicher war dieselbe. Das *Saccharometer* (Zuckerwage) sinkt in der Würze um so weniger tief ein, je größer ihr Gehalt ist, und seine Angaben dienen, um den Brauer zu unterrichten über den Procentgehalt der Würzen an Malzextract. Man rechnet für je 1 Procent Alkoholgehalt des Biers 2 Procent Extract in der Würze, während ein anderer Theil des Extracts sich unverändert wiederfindet im Bier. Selbstverständlich erfordern starke Biere zu ihrer Erzeugung gehaltreiche Würzen. Solche, bei welchen der Extractgehalt vorherrscht, der von 4—15 Procent in verschiedenen Bieren schwankt, werden *substantiöse* oder *extractreiche* Biere genannt. Der Alkoholgehalt der Biere beträgt 2—8 Procent, und man nennt alkoholreiche Biere *starke* Biere. Soll daher z. B. ein Bier 8 Procent Extract und 4 Procent Alkohol enthalten, so muß die Würze vor der Gärung 16 Procent Extract am Saccharometer anzeigen.

Die von dem Maischbottich klar abgezogene Würze wird nunmehr in die *Braupfanne* oder in den *Braukessel* gebracht, um gekocht und gehopft zu werden. Die Kochgefäße sind von Kupfer, und zwar sind die erstern viereckig und flach, die letztern rund gewölbt und tiefer. Von den vielerlei Formen zeigt Fig. 3 die eines Kessels, mit etwas einwärts gebogenem Boden, der widerstandsfähiger ist gegen den Druck der Flüssigkeit, und mit einer Circulationsfeuerung durch die Züge bb. Durch den Hahn d fließt Wasser zu, der Hahn e leitet die Lautermaische nach dem Maischbottich; c ist eine um den Kessel führende Galerie.

Das *Kochen* der Würze bezweckt, dieselbe concentrirter, stärker zu machen, wobei sie zugleich eine dunklere Färbung annimmt. Im Verlauf desselben findet eine weiter gehende Umbildung von Stärke in Zucker statt, was sich an der zunehmenden Süßigkeit der Würze erkennen läßt. Zugleich tritt die *Scheidung* derselben ein, worunter man das Gerinnen weiterer Antheile eiweißartiger Stoffe versteht, die in Flocken sich abscheiden und wodurch das erzeugte Bier haltbarer wird. Endlich wird mit dem Kochen das *Hopfen* verbunden, indem auf 100 Pfund verwendetes Malzschrot $1^1/_2$—2 Pfund Hopfen hinzugesetzt werden, der dem Biere Bitterkeit, Aroma und Haltbarkeit verleiht. Letzteres bewirkt der Hopfen durch seinen Gehalt an flüchtigem Oel und Harz, Stoffe, welche die Zersetzung hemmen, und an Gerbstoff, der mit Eiweißstoffen der Würze verbunden sich ausscheidet. Das Kochen mit Hopfen dauert etwa zwei Stunden, worauf letzterer durch Seihvorrichtungen entfernt wird und die Würze nunmehr als gehopfte Würze bezeichnet wird. Die Menge des Hopfenzusatzes und die Dauer des Kochens mit demselben richtet sich nach dem Geschmack der Biertrinker, nach der Stärke und der Verbrauchzeit des Biers.

Schwache und für den Sommer bestimmte Biere müssen stärker gehopft werden, womit Zunahme des bittern Geschmacks verbunden ist. Starke Würzen, mit etwas weniger Hopfen kürzere Zeit gekocht, liefern ein vollmundiges, süßes und aromatisches Bier.

Die im Vorhergehenden beschriebenen Operationen des Einteigens, Maischens, Kochens und Hopfens der Würze, bei welcher die vorzunehmende Erhitzung im

offenen Braukessel über freiem Feuer geschieht, lassen sich auch durch Dampf bewirken, der vom Braukessel selbst geliefert wird. Es ist hierzu ein continuirlicher Betrieb erforderlich, und Zahl, Stellung und Größe der Vorrichtungen sind so bemessen, daß sie einander in die Hände arbeiten, wie wir dies mit Hülfe der Fig. 5, die eine Dampfbrauerei vorstellt, erläutern wollen. Wenn dieselbe im Gange ist, so befindet sich in dem Dampfkessel A, der zugleich der Braukessel ist, gehopfte Würze im Kochen; je nach Bedarf wird durch die sich verzweigenden Leitungsröhren der Dampf entweder in den Wasserbottich F, oder in einen der drei nebeneinanderstehenden Maischbottiche, von denen nur der vorderste E sichtbar ist, oder endlich in das Hopfenextractionsgefäß B geleitet. Das erhitzte Wasser macht seinen Weg von F nach den Maischbottichen; die in letztern nach und nach fertig werdenden Würzen gehen der Reihe nach in das Gefäß B, um gehopft zu werden, gelangen in derselben Ordnung in den Kessel A und von diesem, sobald sie hinlänglich gekocht sind, auf die Kühlschiffe. Die Richtung des Dampfes wird durch die vorhandenen Hähne regulirt.

Wir schreiten nunmehr zur dritten Hauptoperation der Biererzeugung, zur Gärung, welche bezweckt, einen Theil des Zuckergehalts der Würze in Alkohol und Kohlensäure zu verwandeln. Erst hierdurch finden sich im Bier alle seine charakteristischen Eigenschaften vereinigt; der Alkohol macht es belebend und berauschend, die Kohlensäure erfrischend, schäumend, das unzersetzte Malzextract, aus Gummi und Zucker bestehend, macht das Bier substantiös oder sättigend, und der aromatische Bitterstoff des Hopfens gibt ihm den beliebten Hopfengeschmack.

Es ist zur Beurtheilung der Eigenschaften des Biers und insbesondere seiner Behandlung und Aufbewahrung wohl zu beachten, daß dasselbe nicht wie der Wein ein fertig vergorenes Getränk ist, sondern daß in demselben nach der Hauptgärung stets noch gärungsfähige Bestandtheile übrigbleiben, welche die Nachgärung bewirken.

Die Gärung ist unstreitig einer der merkwürdigsten chemischen Zersetzungsprocesse; sie besteht der Hauptsache nach darin, daß Zucker, $C_6H_{12}O_6$, zersetzt wird in Alkohol (C_2H_6O) und in Kohlensäure, $2CO_2$. Dieselbe vollzieht sich jedoch unter so eigenthümlichen Bedingungen und Nebenerscheinungen, wie dies bei keinem andern chemischen Vorgange der Fall ist, sodaß sie lange Zeit als ein ungelöstes Räthsel alle Sorgfalt des Beobachters und allen Scharfsinn des Forschers herausforderte. Es beruht dies darauf, daß bei der Gärung neben der chemischen Zersetzung die Entwickelung pflanzlicher Organismen einherläuft und zwar so, daß beide Vorgänge nothwendig sich bedingen. Die klare Erkenntniß dessen konnte daher nur durch das vereinte Studium des Chemikers und des Pflanzenphysiologen herbeigeführt werden, das folgende Thatsachen festgestellt hat:

Eine Lösung von reinem Zucker in Wasser zersetzt sich weder von selbst, noch unter der Einwirkung der verschiedensten chemischen Agentien in Alkohol und Kohlensäure. Eine solche Zersetzung tritt jedoch alsbald von selbst ein, wenn Zucker gelöst ist in Flüssigkeiten, welche Eiweißstoffe enthalten, wie dies bei den natürlichen süßen Pflanzensäften, z. B. beim Traubensaft, sowie bei der künstlich erzeugten Bierwürze der Fall ist — ein bekannter Vorgang, den wir Gärung nennen.

Die Zersetzung solcher gärungsfähiger Flüssigkeiten tritt jedoch nicht ein bei Temperaturen, die dem Gefrier- und Siedepunkt des Wassers sich nähern auch nicht in sehr zucker- oder alkoholreichen Flüssigkeiten und in solchen, die Stoffe enthalten, welche lebenden Körpern sich giftig erweisen. Die Gärung unterbleibt ferner, wenn eine gärungsfähige Flüssigkeit gekocht und noch heiß abgeschlossen wird von der Luft; ja sie gärt auch selbst dann nicht, wenn man Luft zu ihr treten läßt, die durch ein Baumwolle enthaltendes oder durch ein glühendes Rohr gestrichen ist. Die also behandelte Flüssigkeit geräth jedoch in Gärung, sobald sie erkaltet einige Zeit mit gewöhnlicher Luft in Berührung ist.

Aus gärenden Flüssigkeiten, die Eiweißstoffe enthalten, scheidet sich im Verlauf der Gärung sogenannte Hefe aus; dieser Schlamm erweist sich, unter dem Mikroskop betrachtet, als aus kleinen, zu den einfachsten Pilzformen gehörenden Pflanzengebilden bestehend, welche den Namen Hefenpilze oder Gärungspilze, Saccharomices cerevisiae, führen. Zu deren Lebensverrichtungen gehört die Aufnahme von Zucker und die Ausscheidung von Alkohol und Kohlensäure.

Die Zellwand der Gärungspilze ist hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung der Stärke und dem Zucker sehr ähnlich; ihr Zellinhalt ist dagegen, wie der aller Pflanzen, stickstoffhaltig. Die Hefenpilze können daher, in eine Zuckerlösung gebracht, zwar leben und deren Gärung hervorrufen, allein sie können sich darin nicht vermehren. In einer Flüssigkeit wie die Bierwürze, in der außer Zucker noch stickstoffhaltige Eiweißkörper sich befinden, wirken die Pilze nicht nur als Erreger oder Ferment der Gärung, sondern sie vermehren sich auch und erzeugen Hefe.

Die niedern Pflanzen, zu welchen die Hefenpilze gehören, pflanzen sich fort durch sogenannte Keimsporen, welche unsichtbar klein sind. Die Luft enthält stets solche Keime, die überall hingelangen und sich da entwickeln, wo sie günstigen Bedingungen begegnen. Hieraus erklärt sich, daß eine gärungsfähige Flüssigkeit, nachdem sie gekocht und von der Luft abgeschlossen worden ist, nicht in Gärung geräth; die in ihr vorhanden gewesenen Keime oder Pilze sind durch die Hitze getödtet worden, neue Keime können nicht hinzutreten. Was das Pflanzenleben hindert — Kälte, Hitze, Gifte — verhindert auch die Gärung. Läßt man die zutretende Luft durch Baumwolle streichen, so hält diese die Keime zurück; streicht sie durch ein glühendes Rohr, so verbrennen die Keime und die Gärung unterbleibt in beiden Fällen.

Solange noch in einer Flüssigkeit Zucker und Eiweißstoffe nebeneinander vorhanden sind, tritt unter günstigen Umständen Gärung in derselben ein.

Nur auf Grund vorstehender Thatsachen läßt sich Einsicht gewinnen in die Gärungserscheinungen, welche bei der Erzeugung aller geistigen Flüssigkeiten, des Weins, des Biers, des Branntweins und des Alkohols auftreten.

Damit die heiße gehopfte Würze in Gärung übergeführt werden kann, muß dieselbe vor allen Dingen in ihrer Temperatur erniedrigt oder die Kühlung der Würze vorgenommen werden. Es ist nothwendig, daß diese Operation rasch vor sich geht, da die Würze sehr geneigt ist, sauer zu werden, d. h. aus der geistigen in die Essiggärung überzugehen. Zu diesem Zweck läßt man dieselbe auf flache hölzerne Kufen, Kühlschiffe genannt, von großem Flächengehalt laufen, sodaß sie darin nur 4—6 Centimeter hoch steht und je nach Art des zu brauenden Biers auf 9—4° R. sich abkühlt. Dabei verdunstet noch ein beträchtlicher Theil des Wassergehalts der Würze, und es setzt sich aus ihr als Kühlgeläger noch etwas in Flocken geronnenes Eiweiß ab.

Da eine rasche Kühlung der Würze sich nur in den Herbst- und Frühjahrsmonaten bewirken läßt, so werden erstere zu Darstellung des sofort in Verbrauch genommenen Winterbiers, letztere für die Sommer- oder Lagerbiere verwendet. Ueberdies sucht man durch Aufstellung der Kühlschiffe an hohen, zugigen Stellen, durch künstlich erzeugten Zug vermittels Flügelwerken, durch Anwendung eiserner Kühlschiffe, die Kühlung zu beschleunigen. Endlich hat man sich durch die Einführung künstlicher Kühlung vermittels kalten Wassers und vornehmlich des Eises fast ganz von der Jahreszeit emancipirt, sodaß in größern Brauereien der Betrieb ununterbrochen neun Monate dauert.

Wir sehen in Fig. 6 eine künstliche Kühlvorrichtung im Grundriß; sie besteht aus einem flachen kupfernen Kasten aa, in welchem ein Schlangenrohrsystem bb liegt; in dieses tritt bei D kaltes Wasser ein, das bei C erwärmt ausfließt, weil es die Wärme der Würze aufnimmt, die, bei A in das Kühlgefäß eintretend, durch die Scheidewände cc genöthigt wird, das ganze Röhrensystem zu passiren, sodaß sie bei B gekühlt den Apparat verläßt.

Die gekühlte Würze wird in den Gärkeller geleitet, ein reinlich gehaltenes Erdgeschoß, dessen Temperatur nicht unter 5 und nicht über 12° R. betragen darf. Auf einem Lager stehen die offenen Gärbottiche, deren Größe und Anzahl sich nach der des Betriebs richtet. Sie dienen zur Aufnahme der Würze, welche zur raschern Einleitung der Gärung durch einen Zusatz von 5—6 Maß dicker Hefe auf 1000 Maß Würze, wie man sagt, angestellt und über der im Bottich ein Steigraum belassen wird, da sie während der Gärung sich hebt. Letztere beginnt nach 8—12 Stunden einzutreten, indem ein zarter weißer Schaum oder Rahm ihre Oberfläche überzieht; nach 24 Stunden zeigt sich das Kräusen, indem die Schäumdecke durchbrochen wird und die Oberfläche der Würze ein gekräuseltes, zackiges Ansehen erhält, das sich nach zwei bis vier Tagen verliert und nur eine bräunliche dünne Decke zurückläßt.

Diese Hauptgärung dauert 7 — 10 Tage; mit ihrer Lebhaftigkeit steigt die Temperatur der Würze um einige Grade und sinkt wieder; ihr süßer Geschmack und ihr specifisches Gewicht vermindern sich in gleichem Grade. Erleidet letzteres keine weitere Abnahme, so ist die Hauptgärung vollendet, das Bier ist fässig, d. h. reif, um auf Fässer gezogen und der Nachgärung überlassen zu werden. Dasselbe wird durch einen oberhalb des Bodens befindlichen Spunt abgezogen von der Hefe, die im Verlauf der Gärung sich unten abscheidet und daher Unterhefe genannt wird. Nur die mittlere, gelbe und sehr dicke Schicht derselben wird als brauchbar hinweggenommen und aufbewahrt. Von dieser Ausscheidungsart der Hefe hat der geschilderte Verlauf der Gärung den Namen der Untergärung erhalten. Die hierbei erzeugten Hefenpilze bestehen aus vereinzelten Zellkügelchen von $\frac{1}{10}$ Millimeter Durchmesser. Die Untergärung findet auf alle nach bairischer Art gebrauten Schank- und Lagerbiere Anwendung.

Die Obergärung hat daher ihren Namen, daß bei dem raschern und kräftigern Verlauf derselben die entweichende Kohlensäure größere Bläschen bildet, welche die Hefe mit sich in die Höhe nehmen, sodaß sie nicht am Boden sich ansammelt. Sie kommt in Anwendung bei den leichten Weißbieren in Norddeutschland, ferner bei den belgischen und englischen Bieren, und zeichnet sich aus durch ihren raschern, in zwei Tagen vollendeten Verlauf, der durch höhere Temperatur des Gärraums und durch Anstellen mit Oberhefe bewirkt wird. Letztere erhebt sich mit einem großblasigen Schaum, der eine hohe Schaumdecke oder einen Schaumberg bildet, daher denn bei der Obergärung ein bedeutender Steigraum beim Füllen der Bottiche belassen werden muß. Nach Vollendung der Gärung sinkt der Schaum zusammen und hinterläßt die Oberhefe in Gestalt einer gelblichen, breiigen Decke; sie besteht, unter dem Mikroskop betrachtet, aus kugeligen, zu Schnüren gereihten Hefenpilzen.

Sowol das obergärige als auch das untergärige Bier enthält noch eine gewisse Menge von Zucker und Eiweißstoff, wodurch die in den Lagerfässern allmählich eintretende und ebenso verlaufende Nachgärung eintritt. Die hierbei entwickelte Kohlensäure bleibt zum großen Theil im Bier und verleiht ihm seine geschätztesten Eigenschaften — den erfrischenden Geschmack und die Fähigkeit des Schäumens. Es ist daher von Wichtigkeit, die Biere auf dem Höhepunkt der Nachgärung in Gebrauch zu geben, da mit der Abnahme und dem gänzlichen Verlust der Kohlensäure selbst das gehaltvollste Bier fade und geschmacklos wird. Die Einhaltung dieses rechten Zeitpunktes erreicht man durch die Einrichtung der Lagerräume für das Bier. Von dieser ist auch die Haltbarkeit des Biers bedingt, das eine große Neigung hat zur Essigsäurebildung und hiermit sauer und unbrauchbar zu werden. Am besten widerstehen derselben die aus malzreichen und stark gehopften Würzen erzeugten untergärigen Biere. Die wesentlichste Bedingung für ihre längere Aufbewahrung ist jedoch eine möglichst niedere, 4—5° R. nicht übersteigende Temperatur, die man durch Anlage von Felsenkellern, insbesondere mit Zuziehung von Eiskellern, zu erreichen sucht. In England, wo überhaupt die Sommertemperatur nicht die Höhe der des Continents erreicht, begegnet man dem nachtheiligen Einfluß der Wärme und des Luftzutritts durch die ungeheuere Größe der aufrecht stehenden Lagerfässer, richtiger als Lagerthürme zu bezeichnen. Sie stehen in oberirdischen Hallen oder Magazinen, deren Temperatur 12° R. beträgt, deren Einfluß jedoch auf ein großes Quantum Bier sich vertheilt und weniger bemerklich wird.

Die Güte des Biers wird nicht lediglich durch seinen Gehalt an den verschiedenen Bestandtheilen bedingt, sondern es kommen hierbei Gewohnheit und Liebhaberei mit in Betracht. Während in einer Gegend leichte, gar nicht oder nur schwach gehopfte, nicht bittere Biere vorgezogen werden, verlangt man dieselben anderwärts stark, substantiös und von entschiedenem Hopfengeschmack; die unter dem Namen Faro und Lambick bekannten belgischen Biere sind ohne allen Trieb, schmecken hart, säuerlich, und man muß daran gewöhnt sein, um sie genießbar zu finden. Auch von den berühmten englischen Bieren ist Porter nicht jedermanns Sache, während Ale allgemeinere Anerkennung findet. Letztere haben unbestritten die bairischen und österreichischen, insbesondere die wiener Biere sich erworben, die im In- und Ausland eines fortwährend gesteigerten Verbrauchs sich erfreuen.

Je mehr Extract das Bier enthält, desto runder und voller erscheint es auf der Zunge, und die Menge desselben schwankt zwischen 4—15 Procent; hiernach unterscheidet man extractreiche, vollmündige, substantiöse von den extractarmen, dünnen und magern Bieren, die, wenn sie einen größern Alkoholgehalt besitzen, weinartig sind. Letzterer bewegt sich zwischen 2—8 Procent.

Von dem Gehalt an Kohlensäure im Biere, die von 0,1 oder 0,2 bis 0,6 Procent beträgt, hängt die Stärke des Schäumens ab. Aus Luftmalz gebraute

Biere heißen **Weißbiere**; dunklere, aus Darrmalz erhaltene werden **Braunbiere** genannt; die gehopften heißen **Bitterbiere**, die ungehopften **Süßbiere**, die mit Pechgeschmack behafteten **Pechbiere**.

Zur Vergleichung des Gehalts verschiedener Biere an den wichtigsten Bestandtheilen dient folgende Tafel:

Namen der Biere	Procente an	
	Extract	Alkohol
London-Ale, gewöhnliches	5—4	4—5
London-Ale, zum Export	7—5	6—8
London-Porter, zum Export	7—6	5—6
Brüsseler Lambick	5—3	4—6
Bairisches Bier	6—4	3—4,5
Berliner Weißbier	6,2—5,7	1,8—2.

2. Branntweinbrennerei und Spiritusfabrikation.

Branntwein und **Spiritus** oder **Weingeist** werden durch Destillation aus gegorenen Flüssigkeiten gewonnen und sind Gemische von Alkohol und Wasser sowie geringen Mengen anderer bei der Gärung sich bildender flüchtiger Stoffe. Man nennt ein solches Product Branntwein, wenn es 40—50 Maßprocente Alkohol enthält und unmittelbar als Getränk dient. Der Spiritus enthält über 90 Procent Alkohol und hat eine ausgedehnte technische Verwendung als Brennmaterial, zu Firnissen, zur Essigfabrikation, zur Darstellung chemischer und pharmaceutischer Präparate, zur Conservirung u. s. w.

Spiritus, der von den begleitenden riechenden Stoffen möglichst befreit worden ist, heißt gereinigter Spiritus oder **Sprit** und wird als Zusatz zu Wein, Bier, Liqueuren und zu Parfümerien verwendet.

Würde zur Gewinnung dieser beiden alkoholhaltigen Flüssigkeiten lediglich reiner Zucker verwendet, so könnten sie nur Alkohol und Wasser enthalten. Allein es werden Branntweine erzeugt aus den verschiedensten zucker- oder stärkehaltigen Naturproducten, die bei der Gärung neben Alkohol noch riechende Stoffe bilden, welche dem Destillat sich beimischen und ihm einen eigenthümlichen Geruch und Geschmack verleihen, den wir **Aroma** nennen, wenn er angenehm, und **Fusel**, wenn er widerlich ist. Die Branntweine erhalten daher, je nach ihrer Abkunft, besondere Namen, wie Zwetschen-, Heidelbeer-, Himbeer- und Kirschbranntwein oder Kirschwasser, Frucht- oder Kornbranntwein oder Whisky, Kartoffelbranntwein oder Schnaps; Enzianbranntwein, Arac oder Reisbranntwein, Rum, der aus Zuckermelasse, und Cognac, der durch Destillation aus dem Wein gewonnen wird, u. a. m.

Die Branntweinbrennerei, früher durch die von der Oertlichkeit hervorgebrachten Naturproducte bedingt und als Nebengeschäft der Landwirthschaft betrieben, hat den Rang einer großen Fabrikation angenommen, seitdem man in der Kartoffel eine Culturpflanze kennen lernte, die jede andere übertrifft in der massenhaften Erzeugung von Stärke. Wie Stärke in Zucker und Zucker in Alkohol verwandelt wird, wurde bei der Fabrikation des Biers (S. 31 u. 33) bereits eingehend besprochen, weshalb wir uns hier auf die Beschreibung einiger Apparate beschränken können.

Noch sei bemerkt, daß auch die Branntweinbrennerei aus Kartoffeln mehr und mehr aus dem landwirthschaftlichen Betrieb verschwindet und der Spiritusfabrikation erliegt, wo nicht örtliche Verhältnisse sie begünstigen. Es beruht dies vornehmlich darin, daß der nur 10 Procent Wasser enthaltende Spiritus eine zum Transport geeignetere Handelswaare ist als Branntwein, der 50—60 Procent Wasser enthält, für welches bei Versendungen die Fracht zu bezahlen ist. Es empfiehlt sich daher meistens, Spiritus zu beziehen und denselben erforderlichenfalls durch Zusatz von Wasser auf Branntwein zu verdünnen.

Aus der chemischen Zusammensetzung des Zuckers läßt sich berechnen, daß bei der Zersetzung desselben in Alkohol und Kohlensäure aus 100 Gewichtstheilen Zucker 53,8 Gewichtstheile Alkohol entstehen müßten. Allein in Wirklichkeit wird diese Menge nicht ganz gewonnen; man kann annehmen, daß der Zucker die Hälfte seines Gewichts Alkohol gibt, sodaß also für 2 Kilo in Gärung gebrachten Zuckers 1 Kilo Alkohol in die Flüssigkeit kommt. Es beruht dies darauf, daß Alkohol und Kohlensäure allerdings die Hauptproducte der Gärung sind, daß jedoch 4—5 Procent Zucker derselben entgehen und andere Producte bilden, nämlich Bernsteinsäure, Glycerin und die sogenannten Weinöle und Fuselöle.

Die **Branntweinbrennerei aus Kartoffeln** zerfällt in drei Operationen, in das **Maischen**, in die **Gärung** und in die **Destillation**. Das Maischen bezweckt, vermittels eines Zusatzes von Malz zu Kartoffelmehl dessen Stärke durch die Einwirkung von Diastas in Stärkezucker überzuführen. Zu diesem Zweck müssen die Kartoffeln gewaschen, in Dampf gekocht und zerrieben werden, wozu mancherlei mechanische Vorrichtungen in Anwendung kommen. Taf. 8, Fig. 7 zeigt eine solche. Der trichterförmige Behälter A steht in einem Fasse, in welches Dampf eingeleitet wird, der die Kartoffeln weich kocht; durch Umdrehung der sechskantigen Walze e in dem Ansatz C gelangen die Kartoffeln nach und nach in das konische Reibwerk B, in welchem die mit Flügeln bb und Reibkolben b′b′... ausgestattete Achse aa unter Zufluß von Wasser sich umdreht, die Kartoffeln in Brei verwandelt und diesen durch die Löcher drückt, während die Schalen zurückbleiben.

Die zerriebene Kartoffelmasse kommt mit einem Zusatz von etwa 5 Procent Malzschrot auf die Maischbottiche und wird zur Zuckerbildung auf die Temperatur von 50° R. gebracht. Hierbei verflüssigt sich der größere Theil der breiigen Masse alsbald, während dickere Klumpen verbleiben und der Zuckerbildung widerstehen. Zur Beseitigung dieses Mißstandes gibt man die Masse in den Apparat ABCD (Fig. 8) im Querschnitt. Der dünne Theil läuft ab, während durch Umdrehung der Kurbel G die Kegelwalze I in Bewegung gesetzt wird, die alle vorhandenen Klumpen zerquetscht und durch den Siebboden drückt.

Nach vollendeter Zuckerbildung wird die Maische durch einen Zusatz von Hefe in Gärbottiche bei etwa 14° R. zur Gärung angestellt, die in 48 Stunden vollendet ist, worauf man zur Destillation schreitet.

Eine jede Destillation beruht darauf, daß in dem **Destillirgefäß** eine Flüssigkeit durch Wärme in Dampf verwandelt wird, der aufsteigt und durch nachfolgende Dämpfe weitergeschoben wird, bis er an einen kühlern Theil des Apparats, die **Kühlvorrichtung**, gelangend, sich wieder zu Flüssigkeit verdichtet, die nach einem zur Aufnahme dienenden Behälter, **Vorlage** genannt, abfließt. Man vermag also vermittels der Destillation Stoffe, die flüchtig sind, d. h. die sich bei einer bestimmten Temperatur in Dampf verwandeln, zu trennen von solchen, die nicht flüchtig sind, oder von solchen, die weniger flüchtig sind. Letzteres ist der Fall bei der Destillation des Branntweins aus Maische, die Alkohol enthält, der bei 63° R. siedet und daher beträchtlich flüchtiger ist als das gleichzeitig vorhandene Wasser, das erst bei 80° R. siedet.

Wenn daher Maische erhitzt wird, so entwickeln sich

vorerst und am reichlichsten Dämpfe von Alkohol. Allein dies hindert nicht, daß zugleich Wasserdampf sich bildet und mit abzieht. Der Erfolg ist, daß die überdestillirte Flüssigkeit, *Destillat* genannt, ein Gemisch von Alkohol und Wasser ist, daß ersterer im Anfange der Destillation vorwaltet, im Verlauf derselben mehr und mehr abnimmt, bis zuletzt der Dampf gar keinen Alkohol mehr enthält, sondern nur noch Wasser liefert. In diesem Zeitpunkt ist die Destillation vollendet, und er gilt als erreicht, wenn von dem Quantum der zur Destillation eingegebenen Maische ein Drittel überdestillirt ist. Außerdem läßt sich dieser Vorgang verfolgen vermittels eines dafür eingerichteten Aräometers, das *Alkoholometer*, *Spiritus*- oder *Branntweinwage* genannt wird, eine Glasröhre, die um so tiefer einsinkt, je reicher das Gemische an Alkohol ist.

Der einfachste, im kleinen Betrieb hier und da noch gebräuchliche Branntwein-Brennapparat besteht aus einer *Destillirblase* von Kupfer, auf deren weite Oeffnung nach Einbringung der Maische der *Helm* oder *Hut* aufgesetzt wurde, dessen Schnabelrohr in das gewundene *Schlangenrohr* mündet. Dieses steht in einem mit kaltem Wasser gefüllten *Kühlfaß* (Kühltonne) und leitet die verdichtete Flüssigkeit in ein als Vorlage dienendes Gefäß. Die früher übliche Heizung mit freiem Feuer ist fast gänzlich durch Dampfheizung verdrängt, die insbesondere den Vortheil gewährt, daß sie das Anbrennen der Maische verhütet. Von den zahllosen Abänderungen, welche in Größe und Einrichtung des Brennapparats vorkommen, zeigt uns Fig. 9 eine Destillirblase, deren Seitenwand von Holz ist, während Helm und Bodenstück aus dünnem Kupferblech bestehen, mit eingeführtem Dampfrohr. Sie empfiehlt sich durch ihre Wohlfeilheit.

Das von der Maische abdestillirte Drittel enthält durchschnittlich 21 Procent Alkohol und wird *Lutter* genannt. Aus demselben wird der Branntwein dargestellt, indem man den Lutter der *Rectification*, d. h. einer nochmaligen Destillation unterwirft und das zwischen 40—50 Procent Alkohol enthaltende Destillat gesondert auffängt. Der alkoholarme Rückstand heißt *Phlegma*.

Die in der Blase verbleibenden Maischrückstände dienen unter dem Namen von *Schlempe* oder *Spülicht* als Viehfutter.

Das in der Maische entstehende *Kartoffelfuselöl* (oder *Amylalkohol* $C_5H_{12}O$) siedet erst bei 132° R.; es ist im ersten Theil des Destillats nur wenig davon vorhanden, sondern tritt hauptsächlich gegen das Ende der Destillation auf, daher das zuletzt aufgesammelte den widerlichen Fuselgeruch und Geschmack in hohem Grade besitzt.

Die *Spiritusfabrikation* auf der heutigen Entwickelungsstufe bezweckt, sofort direct aus der Maische eine Flüssigkeit zu erzielen, die 85—90 Maßprocente Alkohol enthält, und zwar mit dem geringsten Aufwand an Zeit und Brennstoff. Die hierzu befolgten zwei Hauptmethoden, die *Rectification* und *Dephlegmation* beruhen auf folgenden Grundsätzen: Wenn eine alkoholhaltige Flüssigkeit — z. B. Maische — erhitzt wird, so verwandelt sich vor allem der flüchtigere Alkohol in Dampf, dem sich nachträglich mehr und mehr Wasserdämpfe beimengen; die bei jeder Destillation zuerst auftretenden Dämpfe sind daher stets alkoholreicher als die nachfolgenden. Läßt man nun die aus der Destillirblase abziehenden Dämpfe nicht direct in die Kühlvorrichtung gehen, sondern durch eine alkoholhaltige Flüssigkeit, so nehmen sie aus letzterer Alkohol auf und werden alkoholreicher. Wiederholt sich dieser Vorgang mehrmals, so nimmt der Dampf an Alkoholgehalt fortwährend zu; man nennt denselben die *Rectification* und die dazu dienenden Vorrichtungen *Rectificatoren*.

Auch bei der *Dephlegmation* werden die aus der Blase aufsteigenden alkoholhaltigen Dämpfe nicht sofort vollständig verdichtet, sondern genöthigt, einen längern Weg durch den *Dephlegmator* zurückzulegen, in welchem ein Theil derselben sich zu Flüssigkeit verdichtet, die wieder in die Blase zurückfließt, während alkoholreicherer Dampf weiter geht. In der Regel werden bei der Spiritusfabrikation beide Methoden miteinander verbunden, wie dies bei dem Apparat von *Pistorius* (Fig. 10) der Fall ist.

Wenn derselbe in Betrieb gesetzt ist, sind die beiden Blasen A und B sowie der Vorwärmer C mit Maische, also mit einer alkoholhaltigen Flüssigkeit gefüllt. Der in A entwickelte Dampf erhebt sich in dem Helmrohr g, tritt bei i in die in B befindliche Maische, durchstreicht sie und gelangt bereichert an Alkohol in das vom Helmrohr l seitwärts abgehende Knierohr n. Der obere Theil s des letztern geht durch den Boden des Behälters C′, der den Vorwärmer C mantelförmig umgibt. Aus s tritt der Dampf in eine am Boden von C befestigte ringförmige Kappe tt und wird genöthigt, abwärts zu steigen, wobei ein Theil desselben zu Flüssigkeit sich verdichtet. Die alkoholreichern Dämpfe verbreiten sich in dem engen Raum uu zwischen C und C′ und gehen durch die beiden Röhren vv, die sich bei w vereinigen, in den beckenförmigen Dephlegmator D, wo sie durch die Scheibe c′a′c′ genöthigt werden, sich auszubreiten. Die Wände von C′ sowol, als auch die von D, unten durch Luft und oben durch aufgegossenes Wasser abgekühlt, wirken dephlegmirend auf den durchstreichenden Alkoholdampf, der erforderlichenfalls noch ein zweites und drittes solches Becken passirt und zuletzt mit einem Alkoholgehalt von 85—90 Procent durch das Rohr d′ nach der Kühlvorrichtung abzieht.

Indem also der von A ausgehende Dampf die Maische in B, sodann die in C′ verdichtete alkoholhaltige Flüssigkeitsschicht q durchstreicht, findet eine zweimalige Rectification statt, während in C′ sowie in D und den etwa nachfolgenden Becken eine mehrmalige Dephlegmation sich vollzieht. Aus C wird die vorgewärmte Maische durch γ und den Hahn δ nach B abgelassen und von da durch Aufziehen des Ventilgriffs i nach der Blase A. Letztere wird durch ein in der Zeichnung nicht sichtbares Bodenrohr von der Schlempe entleert. Wenn, wie dies hier der Fall ist, mit directem Feuer geheizt wird, so dienen die Rührwerke f und h zur Verhinderung des Anbrennens der Maische.

Oeffnet man den Probehahn d, so geht der Dampf aus der Blase A direct in den kleinen Kühler e und aus dem Gehalt der verdichteten Flüssigkeit erkennt man Fortschritt und Ende der Destillation.

In dem mit Dampf betriebenen *Säulenapparat* von *Pistorius* (Taf. 10, Fig. 1) begegnen wir wieder der im Vorhergehenden beschriebenen Einrichtung, nur in veränderter Aufstellung, sodaß eine kurze Skizzirung zur Erklärung genügt, da ohnehin überall durch die Pfeile die Bewegung und Richtung der Dämpfe veranschaulicht wird.

A erste, B zweite Blase; C erster Dephlegmator; D Vorwärmer für die Maische, die durch das Rohr aa eingelassen wird; E, F, G drei Dephlegmirbecken, aus deren letztem der Alkoholdampf durch l nach dem Kühlfaß geht; durch ee tritt aus dem Dampfkessel der

heiße Wasserdampf in die Blase A; die Ansätze n und m des Warmwasserrohrs dienen zum theilweisen oder ganzen Ablassen des erwärmten Wassers über den Dephlegmatoren; die Zuleitung des kalten Wassers ist weggelassen; die Knierohre o leiten den in den Becken sich ansammelnden Lutter durch das Rohr pp zurück in den ersten Dephlegmator; w sind sogenannte Mannlöcher zum Reinigen der Blasen; durch d wird die Schlempe entleert; s ist ein Probehahn.

Wie mannichfach auch die Abänderungen in den vielen zur Spiritusfabrikation dienenden Apparaten sein mögen, so beruhen doch alle im wesentlichen auf den vorstehend erläuterten Grundsätzen und Einrichtungen, wie insbesondere die in Frankreich und Belgien üblichen Rectificationscolonnen.

3. Essigfabrikation.

Die Essigfabrikation bildet eine Fortsetzung der Erzeugung von Branntwein und Spiritus, und findet sich daher öfter in Verbindung mit dieser Industrie. Was wir Essig nennen, ist der Hauptsache nach ein Gemenge von mindestens 2 und von höchstens 10 Procent Essigsäure ($= C_2H_4O_2$) mit Wasser. Es gibt zweierlei Bildungsweisen der Essigsäure, erstlich die durch trockene Destillation des Holzes, welche den sogenannten Holzessig liefert, und die zweite, bei welcher Alkohol durch Aufnahme von Sauerstoff in Essigsäure übergeht. Der Holzessig ist wegen seines Gehalts an empyreumatischen oder brenzlichen Stoffen zu Speisen nicht geeignet und wird in der Technik verwendet. Aller in unsern Haushaltungen verbrauchte Essig ist auf letztere Art gewonnen worden. Der Vorgang hierbei ist folgender. Sauerstoff, der auf Alkohol (C_2H_6O) einwirkt, entzieht demselben 2 Atome Wasserstoff und bildet mit demselben Wasser (H_2O) und eine flüchtige Verbindung, sogenannten Aldehyd (C_2H_4O), was sich durch folgende Formeln veranschaulichen läßt: $C_2H_6O + O = H_2O + C_2H_4O$. Der letztgenannte Körper geht durch weitere Einwirkung von Sauerstoff, von dem er 1 Atom aufnimmt, über in Essigsäure: $C_2H_4O + O = C_2H_4O_2$. Bei diesem Vorgang entstehen aus 100 Pfd. Alkohol, unter Aufnahme von 69 Pfd. Sauerstoff, 130 Pfd. Essigsäure.

Die Umwandlung von Alkohol in Essigsäure geht jedoch nur unter besondern Bedingungen vor sich. Es ist bekannt, daß weder Spiritus noch Branntwein von selbst sich in Essig verwandeln und sauer werden. Der Sauerstoff bedarf, um dies zu bewirken, eines Vermittlers. Ein solcher ist höchst fein vertheiltes Platin, sogenannter Platinmohr. Gießt man in ein Trinkglas etwas Spiritus und stellt 1 Centimeter hoch über denselben ein Schälchen mit Platinmohr, worauf man die Vorrichtung bedeckt, so erkennt man schon nach einigen Minuten durch den Geruch, daß Aldehyd und Essigsäure sich gebildet haben, deren Menge zunimmt, bis der Alkohol völlig in letztere verwandelt ist. Man nimmt an, daß der Platinmohr den Sauerstoff der Luft verdichtet, der alsdann kräftiger auf den Alkoholdampf einwirkt. Diese Methode wird jedoch zur Fabrikation von Essig nicht angewendet und hierzu vielmehr ein Weg eingeschlagen, der Essiggärung genannt wird, wegen der Aehnlichkeit, die er mit der Entstehung des Alkohols aus Zucker durch die Gärung hat.

Wir wissen aus Erfahrung, nicht selten zu unserm Verdruß und Schaden, daß Wein, Bier und zuckerhaltige Säfte sauer werden. Beobachtet man z. B. einen Weinrest, der in einer Flasche stehen geblieben ist, so beginnt derselbe nach einiger Zeit sich zu trüben, er wird, wie man am Rhein sagt, kahnig, d. h. auf seiner Oberfläche erscheint ein weißlicher Schimmel, und alsbald macht sich durch Geruch und Geschmack bemerklich, daß der Wein in Essig verwandelt ist; ganz ähnlich ist der Vorgang beim Bier. Jener Schimmel ist aber nichts anderes als ein mikroskopischer Pilz, der sogenannte Essigpilz, Mycoderma aceti, zu dessen Lebensfunction es gehört, die Uebertragung des Sauerstoffs der Luft an Alkohol zu vermitteln und diesen in Essigsäure zu verwandeln. Alle Ursachen, welche die Entwickelung und das Leben dieses Essigpilzes verhindern, dienen daher auch zur Verhinderung der Essiggärung, ganz ähnlich, wie dies bezüglich der Hefenpilze bei der Alkoholgärung erläutert worden ist. Je reicher eine Flüssigkeit ist an Alkohol, desto stärkern Essig liefert sie, doch ist zu bemerken, daß die Essigbildung nicht vor sich geht, wenn dieser Gehalt mehr als 12 Procent beträgt; es ist zum Eintritt derselben ferner eine Temperatur von 18—30° R. erforderlich. Je mehr dieselbe den letztgenannten Grad erreicht und je mehr Luft zur essigbildenden Flüssigkeit hinzutritt, um so rascher vollzieht sich deren Umwandlung in Essig.

Nach diesen Vorbemerkungen gehen wir über zur Essigfabrikation, für die es zwei Hauptmethoden gibt, die ältere oder langsame Methode und die neuere oder Schnellessigfabrikation.

Das einfachste Beispiel der Gewinnung von Essig auf erstgenanntem Wege ist zugleich die ursprünglichste Methode, indem man Wein in Säurung übergehen läßt. Das Product heißt Weinessig, und da es die aromatischen Bestandtheile des Weins enthält, so gilt es als die vorzüglichste aller Essigsorten. Hierzu ist jedoch zu bemerken, daß schwache und saure Weine, die arm sind an Alkohol und Zucker, unmöglich einen kräftigen Essig liefern können und daß feinere und starke Weine heutigentags zu theuer sind, um zur Essigbildung misbraucht zu werden. Dagegen wird mitunter in Süddeutschland noch der Hausessig bereitet. Man findet da auf dem großen Kachelofen ein Fäßchen liegend, mit offenem Spunt und etwas über halb gefüllt mit Essiggut. Als letzteres dienen Reste von Wein, Obstwein und Bier, trüber Wein, Branntweinlutter, die gelegentlich aufgefüllt werden und in Essig übergehen, der sich klärt und durch einen in halber Höhe des Bodens befindlichen Hahn abgelassen wird.

Die in großem Maßstabe ausgeführte langsame Essigfabrikation führt wol auch den Namen der Essigsiederei oder Essigbrauerei, da die Vorarbeit ganz in denselben Operationen besteht, die zur Bereitung einer Würze erforderlich sind, nämlich im Malzen von Getreide, Einmaischen desselben mit Zusatz von Kartoffelmehl, Erhitzen der Maische zur Zuckerbildung und Abziehung einer möglichst starken, zuckerhaltigen Würze, welche, zur Gärung angestellt, eine weinartige Flüssigkeit, Malzwein, auch Essiggut genannt, liefert, die durchschnittlich 4,4 Procent Alkohol enthält.

Die Ueberführung derselben in Essig geschieht in der Essigstube, einer heizbaren Localität, in der je nach Größe des Betriebs 30—100 und mehr Essigbilder lagern, nämlich Fässer, die zu drei Viertel angefüllt werden. Der Zutritt der Luft ist durch den offenen Spunt gestattet, und bei einer durchschnittlichen Temperatur von 20—24° R. ist die Essigbildung in sechs bis zehn Wochen vollendet. Sie läßt sich noch beschleunigen, wenn beim Beginn dem Essiggut etwas fertiger Essig zugesetzt und die Temperatur bis gegen 30° R. gesteigert wird.

Seitdem die Spiritusfabrikation aus Kartoffeln eine

so große Ausdehnung gewonnen hat, erweist es sich unter Umständen vortheilhafter, zur Darstellung von Essig Spiritus zu verwenden. Um Essig von gewöhnlicher Stärke mit ungefähr 4,7 Procent Säure zu erlangen, wird eine Mischung von 100 Maß Spiritus, 1250 Maß Wasser und 350 Maß Essig auf die Essigbilder gebracht. Der Zusatz von Essig wirkt hier als Ferment, d. h. dieser bringt die Essigpilze mit, welche die Oxydation des Alkohols vermitteln. Dieselbe ist, wie jede vor sich gehende Verbindung eines Körpers mit Sauerstoff, begleitet von Wärmeentwickelung, und an der Temperatur der Fässer läßt sich der geregelte Verlauf der Essiggärung erkennen und verfolgen.

Zur Zeit, als man Wesen und Bedingung der Essigbildung weniger klar erkannt hatte, pflegte man zum Anstellen der Gärung allerlei Zusätze zu machen, wie Hefe, Weinstein, Sauerteig, Brotrinde, Honig, Syrup u. a. m. Jetzt gilt fertiger Essig selbst als bestes Ferment. Sobald die Essigbilder einmal im Gang sind, unterbleibt ein Zusatz desselben zur Mischung, indem man beim Abziehen des fertig gewordenen Essigs einen Theil desselben im Fasse zurückläßt.

Die Schnellessigfabrikation beruht auf dem Princip, die Luft mit der Essigmischung möglichst in Berührung zu bringen. Während bei den Fässern der Essigstube die Luft nur durch den Spunt hinzutreten und auf eine Flüssigkeitsfläche von geringem Umfang einwirken und nur langsam sich erneuern kann, gibt man bei der Schnellessigbereitung einem Gemisch von Spiritus und Wasser dadurch eine außerordentlich große Oberfläche, daß man es über Holzspäne laufen läßt, die in einem Fasse sich befinden, das als Essigbilder oder Essigständer dient (Taf. 10, Fig. 2 und 3). Auf dem von vielen Löchern durchbohrten doppelten Boden cc (Fig. 3) ruhen die spiralförmig aus Buchenholz gehobelten Späne, welche den 2—3 Meter hohen Ständer anfüllen bis zu einem zweiten obern Boden, der ebenfalls mit vielen kleinen Löchern versehen ist, damit die durch eine Oeffnung des Deckels eingegossene Mischung gleichförmig abfließt und über die Späne sich verbreitet. Der Luftzutritt und Wechsel findet statt durch eine Anzahl von Löchern, die unten ringsum gebohrt sind, und der Austritt durch eine Glasröhre, welche eingesetzt in den obern Siebboden sichtbar ist. Je nach Umfang des Betriebs stehen mindestens drei bis zwölf, auch wol mehr Essigbilder in einem heizbaren Local. Der Mischung aus Spiritus und Wasser wird beim Beginn des Betriebs fertiger Essig zugegeben, was später unterbleibt. Für gewöhnlichen Essig reicht ein dreimaliges Durchpassiren durch die Essigbilder aus; stärkere Essige können durch öfteres Aufgießen erzielt werden, was in einem Tage fertig gebracht wird.

Da niemals aller Alkohol beim ersten Durchgang gesäuert wird, so hält man einen Theil desselben zurück, um ihn bei dem zweiten und dritten Aufguß zuzusetzen. Auf 300 Maß Wasser rechnet man 24 Maß Spiritus, von dem die erste Mischung jedoch nur 16 Maß erhält. Vor dem zweiten Aufguß werden 5 und vor dem dritten die übrigen 3 Maß Spiritus hinzugethan. Die Temperatur des Locals muß annähernd 30° R. sein.

Der von den Spänen ablaufende Essig sammelt sich über dem untersten Boden des Ständers und läßt sich entweder mittels eines um seine Achse drehbaren Hebers von Glas (Fig. 2) oder vermittels einer knieförmigen Glasröhre aa (Fig. 3) durch den Hahn b vollständig ablassen.

4. Zuckerfabrikation.

Der Zucker ist eins der verbreitetsten Producte des Pflanzenreichs. Alles was süß schmeckt enthält Zucker. Er findet sich sowol in dem Stengel des Zuckerrohrs und der Zuckerhirse, in dem Stamme des Ahorns, der Birke und verschiedener Palmen, als auch in den Wurzeln der Zuckerrübe, der Gelbrübe oder Möhre, des Pastinak, Sellerie u. a. m., sowie endlich in zahllosen Beeren und Früchten, in Melonen und Kürbissen, allen Obstarten, insbesondere in der Traube. Allein es herrscht bei den genannten Pflanzentheilen ein erheblicher Unterschied, nicht nur in der Menge ihres Gehalts an Zucker, sondern auch in Hinsicht auf die Beschaffenheit desselben. Man unterscheidet nämlich drei Zuckerarten. Die erste, besonders dadurch ausgezeichnet, daß sie schöne und große Krystalle bildet und die vorzüglich reichlich im Zuckerrohr enthalten ist, wird daher Rohrzucker genannt; die zweite Zuckerart ist zwar auch krystallisirbar, allein sie bildet nur undeutliche, körnige Krystallchen, daher sie Krümelzucker, gewöhnlicher jedoch Traubenzucker (Glycose) genannt wird, weil sie den Trauben ihren süßen Geschmack verleiht. Die dritte Zuckerart, die in Früchten sich findet, heißt Schleimzucker (Chylariose), weil sie nicht krystallisirbar ist; dieselbe bildet sich auch leicht aus den beiden vorgenannten Zuckerarten. Hieraus ersieht man, daß nur der Rohrzucker es ist, der uns den allgemein beliebten Verbrauchsartikel liefert, den wir schlechthin Zucker nennen und mit dessen Eigenschaften wir hinlänglich vertraut sind.

Weniger bekannt ist dagegen die chemische Zusammensetzung des Zuckers. Die Analyse zeigt, daß derselbe aus drei der gewöhnlichsten Elemente besteht, nämlich aus 42 Proc. Kohlenstoff, 6,5 Proc. Wasserstoff, 51,5 Proc. Sauerstoff, was der chemischen Formel $C_{12} H_{22} O_{11}$ entspricht. Wasserstoff und Sauerstoff sind genau in dem Gewichtsverhältniß von 1 zu 8 vorhanden, in dem diese Elemente miteinander vereinigt, Wasser bilden, sodaß der Zucker sich betrachten läßt, als aus Kohlenstoff und Wasser bestehend. Man sollte hiernach erwarten, daß die Fabrikation des Zuckers darin beruhe, Kohlenstoff und Wasser zu vereinigen. Dem ist bekanntlich nicht so. Weder aus den genannten drei Elementen, noch aus Kohlenstoff und Wasser kann direct der Zucker zusammengesetzt werden. Die einzige Stätte seiner Bildung ist bisjetzt noch die Pflanzenzelle, die ihn gelöst in Zellsaft ausscheidet. Die sogenannte Fabrikation des Zuckers beschränkt sich lediglich darauf, ihn in fester Form aus dem Zellsaft abzuscheiden und hat mit der Chemie nicht das Geringste zu thun.

In der That, der Besitzer der kleinen Hacienda Südamerikas, der sein Zuckerrohr quetscht, auspreßt, den Saft zu körnigem Brei einkocht, den er in kleine Kegel geformt an der Sonne trocknet und auf den Markt bringt, er würde sich wundern, sein Product in der chemischen Industrie aufgeführt zu sehen. Und ähnlich würde es dem Hinterwäldler Canadas ergehen, der den Ahorn anzapft und den ausfließenden Saft zu einem graulichen, angenehm schmeckenden Zucker einkocht, wie dies bereits von den Urbewohnern geschehen ist, den armen Rothhäuten, deren einzige Leckerei der Ahornzucker war, den sie in zierlich geflochtenen Körbchen bei feierlichen Begegnungen den Weißen überreichten.

Nichtsdestoweniger werden wir sehen, daß die Chemie an der heutigen Zuckerproduction den wesentlichsten Antheil hat, daß sie Gegenstand des eifrigsten Studiums der ausgezeichnetsten technischen Chemiker geworden ist.

Von den vielen Gewächsen, welche Zucker erzeugen,

kommen für uns nur zwei in Betracht, auf deren Benutzung die große Zuckerindustrie sich gründet: das Zuckerrohr und die Zuckerrübe. Ersteres verdient den Vorrang sowol geschichtlich als auch durch die Güte seines Products. Es gedeiht nur in den tropischen Regionen und wird seit undenklicher Zeit in Ostindien und China angebaut und zur Zuckergewinnung benutzt. Solange jene Länder noch unzugänglich blieben, war der Zucker unbekannt in Europa. Weder die Griechen noch die Römer vermochten ihr Dasein zu versüßen durch Zucker, und was Staunenswerthes von den Gastmählern der letztern auch berichtet wird, so entbehrten dieselben doch gänzlich des Zaubers, welchen der Conditor mit seinen unzähligen Zuckerwerken über unsere heutigen Festtafeln zu verbreiten sich rühmt.

Es scheint, daß erst zur Zeit der Kreuzzüge, die Europa mehr in Berührung mit dem Orient brachten, der Zucker seinen Weg nach ersterm fand, jedoch als seltener, kostbarer Artikel, den nur die Apotheken führten. Für diese war er jedoch zu einem unumgänglichen Requisit geworden, wie das damals übliche Sprichwort beweist. Wollte man etwas als ganz ungewöhnlich oder undenkbar bezeichnen, so sagte man: „So wenig als eine Apotheke ohne Zucker."

In späterer Zeit wurde das Zuckerrohr nach Europa gebracht, sein Anbau sogar auf Sicilien betrieben, der jedoch aufhörte, als es nach der Entdeckung Amerikas zunächst auf die Antillen übertragen wurde. Dagegen fand man in Australien und auf Inseln des Großen Oceans ein eigenthümliches heimisches Zuckerrohr vor.

Soviel des Geschichtlichen. Was nun die Ergiebigkeit des Zuckerrohrs betrifft, so ist diese in Quantität und Qualität eine vorzügliche. Das Zuckerrohr, in seiner äußern Erscheinung unserm Schilfrohr sehr ähnlich, wird 4—5 Meter hoch; seine gegliederten Stengel erreichen eine Dicke von 5 Centimeter und färben sich bei der Reife gelb und violett. Sie enthalten 90 Proc. Saft von durchschnittlich 18 Proc. Zuckergehalt. Die Unvollkommenheiten der Gewinnungsweise liefern hiervon jedoch nur 8 Proc. als krystallinischen Zucker in den Handel. Dieser enorme Verlust ist um so unverzeihlicher, als der Saft des Zuckerrohrs eine fast reine Zuckerlösung ist, mit sehr geringer Beimengung von Eiweißstoffen und Salzen.

A. Rohrzucker.

Wir beschränken uns darauf, bezüglich der Fabrikation des Rohrzuckers die Hauptoperationen nur kurz anzudeuten, indem dieselben bei der Beschreibung der Rübenzuckerfabrikation sich wiederholen und dort eine eingehende Besprechung erfahren.

Auf den Zuckerplantagen begnügt man sich, nur den Rohzucker zu erzeugen, der auch unter dem Namen Moscovade oder Puderzucker in Gestalt einer gelblichen bis braunen, mehr oder weniger feuchten, krümeligen Masse in den Handel kommt.

Das Auspressen des Zuckerrohrs geschieht in der Zuckermühle vermittels eiserner Walzenpressen, wobei von den 90 Proc. Saft nur 50—60 Proc. gewonnen werden; ein Drittel desselben bleibt in dem gepreßten Stroh, Bagasse genannt, zurück, das zur Feuerung dient. Es folgt nun das Klären und Einkochen des Saftes, indem derselbe unter einem Zusatz von 5—9 Liter Kalkmilch auf 15000 Liter Saft in einem kupfernen Kessel erhitzt wird. Der Kalk bewirkt einestheils die Abstumpfung der im Saft enthaltenen freien Pflanzensäuren, anderntheils bringt er das vorhandene Eiweiß zum Gerinnen, das einen Schaum bildet, der abgeschöpft wird. Hierdurch klärt sich der Saft, der alsdann in andere Pfannen gebracht und eingekocht wird, bis eine zwischen Daumen und Zeigefinger gebrachte Probe sich in Fäden von 1,5 Centimeter Länge ausziehen läßt. Die eingedickte Masse wird in flache Holzgefäße gebracht, wo sie rasch erkaltet und krystallisirt. In dem Boden derselben befinden sich verstopfte Löcher, die nunmehr geöffnet werden, wodurch der nicht krystallisirbare Theil, Syrup oder Melasse genannt, abfließt.

Im europäischen Handel unterscheidet man drei Rohzuckersorten, nämlich: westindischen, von Cuba und den Antillen; ostindischen, auch hinterindischen, von Java, Manila, Siam, Kanton; und amerikanischen Rohzucker, von Rio-de-Janeiro u. a. m.

Die Raffination des Rohzuckers, d. h. seine Reinigung durch Entfärben und Umwandlung in Melis und Candis, ist ganz identisch mit dem Vorgange bei Darstellung des Rübenzuckers.

Die Gesammtrohrzucker-Production wurde im Jahre 1868 gegen 50 Mill. Ctr. geschätzt.

B. Rübenzucker.

Auch der Rübenzucker hat seine Geschichte. Dieselbe ist freilich neuern Datums und beeinflußt von den modernen Institutionen, von politischen und fiscalischen Rücksichten und Maßnahmen. Aber gerade die hierdurch eintretenden Wechselfälle verleihen ihr besonderes Interesse, ja sie erhebt sich zu wirklich tragischen Episoden, bezeichnet durch den Ruin von Hunderten von Fabriken und Tausenden von Vermögen.

Es gebührt dem Apotheker Marggraf in Berlin das Verdienst, den bedeutenden Zuckergehalt einer europäischen Culturpflanze nachgewiesen zu haben, der Runkelrübe, die bisher nur als Gemüse- und Futterpflanze in Betracht kam. Derselbe zeigte 1747 daß in der weißen Runkelrübe 6 Proc. Zucker enthalten sind. Allein wenn es auch später den verdienstvollen Anstrengungen von Achard und Hermbstädt gelang, im großen Betrieb aus der Rübe bis 6 Proc. Zucker und 4 Proc. Melasse zu gewinnen, so konnte doch bei den damaligen niedrigen Preisen des Zuckers, mit welchem England den Continent überschwemmte, ein allgemeiner und nachhaltiger Betrieb der heimischen Zuckerproduction nicht festen Boden gewinnen. Hierfür trat erst gegen Ende des 18. und zu Anfang des 19. Jahrhunderts die günstige Conjunctur ein. Anhaltende Kriege und insbesondere das System der Continentalsperre, durch welches Napoleon I. England zu ruiniren gedachte, steigerten die Preise des Colonialzuckers zu fabelhafter Höhe. Während man um das Jahr 1805 für ein Pfund Zucker 8 bis 12 Groschen bezahlte, kostete dasselbe im Jahre 1811 nicht weniger als 2 Thaler. Wenn dies schon einer auf die Erzeugung von Rübenzucker gesetzten Prämie gleichkommt, so wurde dieselbe noch weiter ermuntert durch besondere von Napoleon auf die Anlage von Fabriken gesetzte Preise, und in seinem Drange, England zu schaden, entwickelte er auf dem Gebiete der Zuckerindustrie einen solchen Eifer, daß der Haß gegen ihn das populärste Gefühl in England wurde. Aus jener Zeit datirt eine Caricatur, auf der man John Bull erblickt, wie er eine mächtige Rübe, die unverkennbar die Züge und Figur Napoleon's trägt, über den Kanal schleudert mit den Worten: „Va te faire sucre!"

Mit dem Sturze Napoleon's und des Continentalsystems stürzten zugleich die Rübenzuckerfabriken, die gleich Pilzen im nördlichen Frankreich emporgeschossen waren. Es schien, als ob diese Industrie überhaupt vom europäischen Boden verschwinden sollte. Allein es entstand im Verlaufe der Zeit für dieselbe eine er-

neuerte, wenn auch weniger hohe Prämie durch den auf die Einfuhr des Zuckers gelegten Zoll. Dieselbe besteht noch heute als wesentliche Bedingung für die einheimische Zuckererzeugung, denn während in Deutschland sowol der eingeführte Rohrzucker als auch der Rübenzucker durchschnittlich pro Pfund 6 Groschen kostet, beträgt der Preis desselben in England 3 bis 4 Groschen, da dort der Colonialzucker zollfrei eingeht.

Die Rübenzuckerfabrikation entwickelte sich vorzüglich wieder im nordwestlichen Frankreich, wo Arras und Lille ihre Mittelpunkte bilden. In Deutschland gewann sie Ausdehnung besonders in der preußischen Provinz Sachsen, in Braunschweig und Anhalt, während in Süddeutschland nur eine einzige Fabrik von hervorragender Bedeutung sich behauptet hat. Es fehlte nämlich auch in späterer Zeit keineswegs an Krisen für diese Industrie. Mit der steigenden Production des inländischen Rübenzuckers mußte eine entsprechende Verminderung des Eingangszolls für Colonialzucker eintreten, und der Staat suchte diesen Ausfall seiner Einnahmen zu decken durch Besteuerung der Zuckerfabrikation. In der That wurde dieselbe von anfänglich $^1/_2$ Groschen für den Centner verarbeiteter Rüben seit 1840 allmählich auf $7^1/_2$ Groschen gesteigert und dürfte hiermit ihre Grenze noch nicht erreicht haben. Im Jahre 1867, wo 43,5 Mill. Ctr. Rüben verarbeitet wurden, war der Ertrag der Rübensteuer 12 Mill. Thlr. Die Gesammtproduction von Rübenzucker in Europa betrug 14 Mill. Centner, wovon auf Deutschland nahezu 4 Mill. Centner kommen.

Diese Belastung der Fabrikation konnte nur ertragen werden durch eine vervollkommnete Methode in der Zuckergewinnung, und hier ist es, wo die Fortschritte in der Chemie sowie die Zuziehung physikalischer und mechanischer Hülfsmittel das Einhalten der Wage ermöglichen. Andererseits hatten entsprechende Verbesserungen im Anbau der Rübe mitzuwirken zur Erreichung und Einhaltung dieses Ziels.

Hiermit sind wir bei der Betrachtung der Zuckerrübe selbst angekommen, von der verschiedene Spielarten angebaut werden, unter welchen die Electoral- oder Imperialrübe den reichsten, auf 12—14 Proc. steigenden Zuckergehalt besitzt. Durchschnittlich kann jedoch der Zuckergehalt der Rüben nicht höher als 10—11 Proc. angenommen werden. Als mittlere chemische Zusammensetzung der Zuckerrübe ergeben sich folgende Procente:

Wasser	82,7
Zucker	11,3
Eiweißstoffe	1,5
Zellstoff	0,8
Organische Stoffe, insbesondere Säuren und ihre Salze, Farbestoff u. a. m., und unorganische Salze	3,7
	100,0

Als verkäufliche Waare in Gestalt von Melis werden aus dem Centner Rüben 7—8,5 Pfd. Zucker gewonnen.

Der große Gehalt des Rübensaftes an Eiweißstoffen, insbesondere aber an Säuren und Salzen sind die Ursachen, welche die Gewinnung des Zuckers aus demselben ungemein erschweren und die Ausbeute beeinträchtigen.

Die Fabrikation des Rübenzuckers umfaßt eine Reihenfolge von Operationen, welche wir in Nachfolgendem aufzählen:

1) Das Waschen und Putzen der Rüben. 2) Das Zerkleinern derselben. 3) Gewinnung des Rübensaftes. 4) Scheidung des Saftes mit Kalk und Entkalkung desselben. 5) Entfärbung vermittels Filtration durch Knochenkohle. 6) Verkochen des Saftes zur Krystallisation. 7) Darstellung von Melis und Candis.

1) Das Waschen und Putzen der Rüben geschieht in einer aus Latten gefügten Trommel, die 12 Centimeter tief in Wasser eintaucht und durch die Dampfmaschine in Umdrehung versetzt wird; die vollkommen gereinigten Rüben werden mit dem Messer von den Köpfen und sonstigen unbrauchbaren Theilen befreit.

2) Die Zerkleinerung der Rüben. Dieselbe besteht vorherrschend in dem Zerreiben oder, richtiger gesagt, in einem Zerreißen der Rüben. Da der Saft in den Zellen der Rübe eingeschlossen ist, so würde selbst die Anwendung des stärksten Drucks nicht vermögend sein, denselben auszupressen. Dies kann erst geschehen, wenn das Zellgewebe zerrieben ist, wozu man sich der Reibe von Thierry (Taf. 9, Fig. 1) bedient, die im Durchschnitt abgebildet ist. Dieselbe besteht aus einer Reibetrommel, die aus zwei Scheiben von Gußeisen gebildet wird, von welchen hier nur die eine, B sichtbar ist. Zwischen denselben werden vermittels Schrauben hölzerne Dauben g g eingeklemmt und auf diese abwechselnd schmale Holzleisten (Fig. 2) aufgenagelt und entsprechende Sägeblätter (Fig. 3) zwischen denselben eingeklemmt, von welch letztern 250 eingesetzt werden. Durch einen jederseits über die Stirne dieser Theile getriebenen schmiedeeisernen Ring bekommt das Ganze Halt, der noch vermehrt wird durch Uebergießen des Holzwerks der Trommel mit warmem Wasser, wodurch es aufquillt. Vereinfacht wurde die Herstellung dieser Vorrichtung, indem man, wie Fig. 4 zeigt, zwei gußeiserne Scheiben nahm, die durch die Achse b und die daraufsitzenden Rippen zu einem Ganzen fest verbunden sind. Zwischen die Scheiben werden dann Sägeblätter in einen Falz geklemmt, der durch einen am Umfang befindlichen Ring gebildet wird.

Die Trommel ist auf der Achse a (Fig. 1) festgekeilt und macht mit derselben 1000 bis 1200 Umdrehungen in der Minute, wodurch in 24 Stunden 800 bis 1000 Ctr. Rüben in einen feinen Brei verwandelt werden. Es geschieht dies durch die über die Leisten hervorragenden Zähne der Sägeblätter. Damit der Brei nicht weggeschleudert wird, deckt eine Kappe von Eisenblech D die Oberseite der Maschine. Die Rüben werden in dem sogenannten Rumpf C vorgeschoben, entweder durch Handarbeiter oder durch einen mechanischen Schiebknecht (Poussoir). Die zerriebene Masse fällt in den Raum E.

Nach dem Verfahren von Schützenbach, das in der großen Fabrik von Waghäusel in Baden befolgt wird, werden die Rüben durch eine mechanische Vorrichtung in fingerlange Schnitzel geschnitten, hierauf getrocknet und später extrahirt.

3) Gewinnung des Rübensaftes. Zum Auspressen des Rübenbreis hat die hydraulische Presse alle frühern Preßvorrichtungen verdrängt, weil sie bei leichter Handhabung und großer Wirkung nur einen kleinen Raum einnimmt. Die Einrichtung der hydraulischen Presse beruht auf dem hydrostatischen Gesetz, daß der Druck, welcher auf eine Stelle einer Flüssigkeit ausgeübt wird, die in einem verschlossenen Gefäße sich befindet, nach allen Richtungen mit gleicher Stärke sich fortpflanzt. Ein unwillkommenes Beispiel der hierdurch erzielbaren Wirkung wird mitunter erlebt beim Verkorken von Weinflaschen. Ist eine solche gänzlich angefüllt, sodaß der Kork unmittelbar auf der Flüssigkeit aufsitzt, so reicht ein ganz geringer Druck oder

Schlag hin, die Flasche zu zersprengen. Jeder Theil der innern Oberfläche der Flasche, der so groß ist als die vom Kork berührte Flüssigkeitsfläche erleidet in diesem Falle einen gleich großen Druck wie jene, was eine Gesammtwirkung von innen nach außen ergibt, der selbst die stärkste Flasche nicht zu widerstehen vermag.

Um zu erläutern, wie dieses Princip Anwendung findet bei der hydraulischen Presse, bedienen wir uns der Fig. 5 Dieselbe stellt ein zweischenkeliges Gefäß vor, in welchem zwei Kolben luftdicht eingepaßt und verschiebbar sind. Das Gefäß ist angefüllt mit Wasser. Wirkt nun ein Druck auf den kleinern Kolben, so pflanzt sich derselbe fort und schiebt den Kolben im weitern Schenkel mit einer Kraft in die Höhe, die so viel mal größer ist als die angewendete, als der Querschnitt des großen Kolbens den des kleinen an Flächeninhalt übertrifft. Es habe beispielsweise der Querschnitt des kleinen Kolbens 1 Quadratcentimeter, der des großen 100 Quadratcentimeter, und es sei der auf erstern wirkende Druck gleich 10 Pfd., so wird der große Kolben mit einer Kraft von $10 \times 100 = 1000$ Pfd. aufwärts geschoben. Wird nun über diesem Kolben ein Widerlager angebracht und zwischen diesem und dem Kolben ein Körper eingeschaltet, so wird letzterer mit der entsprechenden Kraft zusammengepreßt. Je größer der Querschnitt des Preßkolbens im Verhältniß zu dem des Druckkolbens, und je größer der auf letztern ausgeübte Druck, desto größer die Wirkung der Presse, die in der That zu ganz außerordentlicher Leistung gesteigert werden kann. Zur weitern Veranschaulichung dient Fig. 6, wo mit Weglassung der Druckpumpe, welche durch m das Wasser unter den Preßkolben g führt, die eigentliche Preßvorrichtung abgebildet ist. Dieser Kolben trägt an seinem obern Theil eine Platte h, Preßtisch genannt, die ringsum eine rinnenförmige Vertiefung zur Aufnahme des ausfließenden Saftes hat, der durch das Rohr z′ abläuft. Auf den Preßtisch wird der in Tücher eingeschlagene oder in Säcke gefüllte Rübenbrei mit eingeschalteten Eisenblechen aufgeschichtet und durch den Auftrieb des Kolbens gegen das Widerlager o′ gedrückt.

Die Dicke der zu pressenden Rübenbreischichten darf nur eine geringe sein, sodaß nach vollzogener Pressung die Preßrückstände, die sogenannten Preßlinge, nicht dicker sind als Pappe, und dabei dicht und möglichst trocken erscheinen. 100 Pfd. Rüben liefern 76,8 Saft und 23,2 Pfd. Preßlinge, welche noch 15 Wasser und 1,72 Pfd. Zucker enthalten. Man benutzt dieselben als Viehfutter, zur Bereitung von Branntwein und als Material zur Papierfabrikation.

Außer dem geschilderten Preßverfahren kommt zur Saftgewinnung auch das Schleuderverfahren vermittels der Centrifuge in Anwendung. Der popularsten Anwendung der Centrifugalkraft begegnen wir, wenn die Köchin den gewaschenen Salat, in eine Seihe oder in einen Korb gethan, kräftig in Umschwingung versetzt. Das anhängende Wasser fliegt durch die Oeffnungen oder Maschen davon. Maschinen, nach gleichem Princip construirt, um Flüssiges von Festem zu trennen, heißen Centrifugen. Fig. 10 zeigt uns im Längsschnitt eine Saftcentrifuge; a ist eine oben offene Trommel mit siebartig durchlöcherter Wand, in welche der Rübenbrei eingeschüttet wird, der von dem Kegel c c abgleitet und nach der Trommelwand geleitet wird. Ein Mantel e e umgibt die Trommel und dient zum Auffangen des ausgeschleuderten Saftes, der durch f abfließt. Durch die Achse b, welche mit der Betriebsmaschine in Verbindung steht, wird die Trommel in Bewegung gesetzt, von 1000 — 1200 Umgängen in der Minute. Dieselbe vermag 150 — 200 Pfd. Rübenmasse aufzunehmen. Die Centrifuge liefert aus dem eingetragenen Brei nur ungefähr 65 Proc. Saft. Zur Gewinnung des zuckerhaltigen Saftes, der im Rückstand noch enthalten ist, wird dieser gedeckt, d. h. durch eingespritzes Wasser etwas verdünnt und abermals ausgeschleudert. Eine Wiederholung dieser Operation würde zwar eine fast gänzliche Erschöpfung des Breis möglich machen, aber so verdünnte Säfte liefern, daß er die Kosten der Eindampfung nicht lohnt.

Endlich macht man bei der Gewinnung des Zuckers aus der Rübe auch Gebrauch von der Maceration, welche darin besteht, daß die getrocknete Rübe gemahlen und wiederholt in Wasser eingeweicht wird, das den Zucker auszieht. Dieses Verfahren gewährt den Vortheil, daß das Verarbeiten der getrockneten Rübe einen Geschäftsbetrieb zuläßt, der auf das ganze Jahr sich ausdehnt, während das Aufarbeiten frischer Rüben in eine kurze Periode, in die sogenannte Campagne sich zusammendrängt, mit nachfolgendem Stillstellen der Arbeiter. Als Nachtheil der Arbeit mit getrockneter Rübe ergibt sich jedoch der wiederholte Aufwand von Brennstoff, einmal um den natürlichen Wassergehalt der Rübe, und das andere mal um das bei der Maceration wieder zugesetzte Wasser zu verdampfen. Man hat daher letztere nicht ohne Vortheil auf frische Rübenschnitzel anzuwenden versucht.

4) Die Scheidung des Rübensaftes. Der ausgepreßte Saft färbt sich an der Luft rasch tintenartig; er enthält außer Zucker einige stickstoffhaltige Substanzen, die leicht Fermente bilden und den Zucker in Milchsäure und andere Gärungsproducte überführen; er enthält ferner freie Säuren, die geneigt sind, den Zucker in unkrystallisirbaren Zucker zu verwandeln. Es gilt daher, diesen nachtheiligen Einflüssen möglichst rasch zu begegnen, was geschieht, indem der Saft in der Scheidepfanne, unter Zusatz von 1 — 2 Pfd. Kalk auf 100 Liter erhitzt wird. Sobald der Inhalt der Pfanne den Siedpunkt erreicht hat, scheidet er sich in eine zusammenhängende, starke, graue Schaumdecke und in klaren Saft, welch letzterer schon nach einigen Minuten abgezogen werden kann. Der im Kessel verbleibende Schaum bildet eine schlammige Masse, den sogenannten Scheideschlamm, und hält eine bedeutende Menge Zuckersaft zurück. Zu dessen Gewinnung wurde früher der Schlamm durch Handarbeit in Säcke gefüllt und ausgepreßt, allein von dem darin vorhandenen ätzenden Kalk wurden nicht nur die Preßbeutel, sondern auch die Kleider und Hände der Arbeiter zerfressen, sodaß letztere diese Arbeit verweigerten. Die Einführung einer bessern Methode wurde daher als eine allseitige Wohlthat begrüßt.

Die Entsaftung des Scheideschlammes geschieht jetzt allgemein durch die Filterpresse (Fig. 11). Derselben ist die Einrichtung von Pressen zu Grunde gelegt, die in England schon lange in der Porzellanfabrikation zum Auspressen des Wassers aus der feingeschlemmten Porzellanerdemasse in Anwendung kommen. Auf einer horizontalen Barre T sind vermittels der Handhaben g g eine Anzahl von eisernen Preßplatten s d, s d, eingehängt; der bewegliche Holm h läß, sich durch Anziehen der Schraubenmuttern m m, was mit dem Hebel F geschieht, auf der Barre T gegen den festen Holm h′ schieben, wodurch die Preßplatten aneinandergedrückt werden. Jede Preßplatte hat eine etwa 2 Centimeter starke Vertiefung und ist der Länge nach cannelirt. Es entstehen auf diese Weise zwischen den Platten schmale, auf der hohen Kante stehende

Preßkammern, welche ringsum mit sehr feinmaschigem Messingdrahtsieb und darübergeschlagenem Tuch bekleidet sind. Auf unserer Abbildung sind einige Preßplatten herausgenommen, sodaß die mit Drahtsieb verkleidete vertiefte Wand i″ der Platte d′ sichtbar ist. R ist ein hohler, vierkantiger Kanal, und eben in die Höhe gehoben, um zu zeigen, daß er unten die Oeffnungen 1, 2, 3, 4 .... hat, welche ebenso viel Oeffnungen entsprechen, die zu den Preßkammern führen, v v ... sind Ventile, durch welche diese Oeffnungen geschlossen werden können. Denken wir uns den Kanal R herabgelassen, durch die Schraube b fest angedrückt und bei geöffneten Ventilen v ... in Verbindung gesetzt mit einem höher gelegenen Behälter, der mit Scheideschlamm gefüllt ist, so wird letzterer in die Preßkammern treten. Werden nunmehr die Ventile v v geschlossen und der Hebel F in Thätigkeit gesetzt, so rücken die Preßplatten zusammen, der Scheideschlamm wird ausgedrückt und entläßt seinen Saft in die Sammelrinne S. Es ist ferner die Einrichtung getroffen, daß durch ein Zuleitungsrohr x Dampf in alle Preßkammern einströmen kann, welcher den in dem Schlammkuchen und in dem Preßzeuge noch vorhandenen Zuckersaft austreibt und der Sammelrinne zuführt. Es wird auf diese Weise ein sehr vollständiges Aussüßen des Schlamms erzielt.

Der Einfluß, welchen die Scheidung auf den Saft ausgeübt hat, ist ein sehr wesentlicher. Erstlich wird durch die Siedehitze ein großer Theil eiweißartiger Stoffe als Schaum abgeschieden, während durch den Kalkzusatz andere stickstoffhaltige Bestandtheile unter Entwickelung von Ammoniak zersetzt werden. Die vorhandenen freien Säuren werden abgestumpft und die Salze zersetzt, sodaß freies Kali und Natron im Saft enthalten sind. Gleichzeitig entsteht jedoch eine Verbindung von Kalk mit Zucker, sogenannter Zuckerkalk, die in Wasser löslich ist. Dieser Zucker würde der Gewinnung entgehen, ohne die Vornahme der Entkalkung des Saftes, welche durch Einleitung von Kohlensäure in denselben bewirkt und Saturation genannt wird; der Kalk fällt als ein Schlamm nieder, der mit dem Scheideschlamm der Filterpresse unterworfen wird.

Während der Rübensaft vor der Läuterung trübe, röthlich oder schwärzlich und schwach sauer war, erscheint er nach derselben vollkommen klar (blank), hellgelb, alkalisch und von stark ammoniakalischem Geruch.

5) **Die Filtration des Saftes durch Knochenkohle und das Verdampfen des Saftes.**

Der natürliche Wassergehalt des Rübensaftes wird noch vermehrt durch den Wasserzusatz, den derselbe bei verschiedenen Operationen, wie beim Aussüßen des Rübenbreis, des Scheideschlamms u. a. m. erfährt. Zur Gewinnung des Zuckers aus dem Saft müssen $^{10}/_{11}$ seines Gewichts Wasser oder 16000 Liter auf 1000 Liter verdampft werden. Man unterscheidet hierbei zwei Perioden, nämlich das Verdampfen des sogenannten Dünnsaftes bis zur Concentration von 25° B., von welchem Punkt an der Saft Dicksaft heißt und durch das nunmehr eintretende Verkochen zur Krystallisation gebracht wird.

Ungeachtet der Reinigung, welche der Saft durch die Scheidung und Saturation erfahren hat, enthält derselbe immer noch fremde Stoffe, die insbesondere bei zunehmender Concentration desselben zersetzend auf den Zucker einwirken. Außer färbendem Stoff ist es die Gegenwart von Kali, Natron, sowie von Kalk, welche sich nachtheilig erweisen und auf chemischem Wege nicht entfernt werden können.

Glücklicherweise hat man in der Knochenkohle ein Mittel entdeckt, eine weitere Reinigung des Saftes zu bewirken, indem dieselbe die wunderbare Eigenschaft besitzt, sowol Farbestoffe als auch Salze anzuziehen und festzuhalten. Zu diesem Zweck wird der Saft zweimal durch Kohle filtrirt, das erste mal entweder sogleich nach der Saturation oder nachdem derselbe etwas verdampft ist; es ist dies die Filtration des Dünnsaftes. Die zweite oder die Filtration des Dicksaftes findet unmittelbar vor dem Verkochen statt, wenn der Saft eine Concentration von 22—25° B. erreicht hat.

Allgemein in Verwendung ist das Dumont'sche Kohlenfilter (Fig. 7), im Durchschnitt, ein aufrechtstehender Cylinder von Eisenblech, der 50 Centimeter Durchmesser und 3 bis 4 Meter Höhe hat. Die Mannlöcher m und m′ dienen zum Ein- und Ausbringen frischer und abgenutzter Kohle; der Siebboden s wird mit einem Seihtuch belegt und dann die körnig gepulverte Kohle aufgetragen. In das Leitungsrohr S münden nicht weniger als vier Hähne, um nach Bedarf Dampf durch C, oder Wasser durch d, Dünnsaft durch e oder Dicksaft durch f, aus oberhalb befindlichen Behältern einlassen zu können. Der vom Filter bei s austretende Saft steigt in dem Rohre u aufwärts und fließt bei geöffnetem Hahn h in den Trichter T, der auf die Leitrohre O oder O′ gesteckt wird, je nachdem Dünnsaft oder Dicksaft resultirt.

Der aus dem Filter hervorgehende, möglichst gereinigte Dicksaft heißt nunmehr Klärsel, und wird zur Krystallisation verkocht.

Die ausgezeichnete Wirkung, welche die Kohle auf die Reinigung des Saftes ausübt, nimmt jedoch ab in dem Maße, als auf ihrer Oberfläche die dem Zucker entzogenen Stoffe sich absetzen, welche einestheils aus stickstoffhaltigen organischen Stoffen, insbesondere Farbstoff, anderntheils aus Kalk bestehen. Letzterer wird von der Kohle so kräftig angezogen, daß manche Fabriken die Entkalkung durch Kohlensäure ganz unterlassen. Es tritt endlich ein Zeitpunkt ein, in welchem die Kohle ihre Wirksamkeit völlig eingebüßt hat und aus dem Filter entfernt werden muß. Bei dem starken Verbrauch an Kohle, der sich in der Fabrik Waghäusel jährlich auf circa 20000 Ctr. beläuft, ist es daher von größter Wichtigkeit, daß man Mittel und Wege gefunden hat, zur Wiederbelebung der Kohle, d. h. zu einem Verfahren, wodurch sie ihre nützlichen Eigenschaften nahezu vollständig wiedererlangt. Zu diesem Ende wird die gebrauchte Kohle zuerst mit Salzsäure behandelt, wodurch ihr der aufgenommene Kalk entzogen wird; hierauf überläßt man die Kohle der sogenannten Gärung, d. h. der Fäulniß, wodurch die organischen Stoffe in Zersetzung übergehen. Der letztgenannte Proceß kann mit Zeitgewinn ersetzt werden durch Behandlung der Kohle mit Natronlauge. Es folgt dann ein sorgfältiges Waschen der Kohle, worauf sie getrocknet und geglüht wird.

Letzteres geschieht in dem Röhren-Glühofen (Taf. 8, Fig. 11), den wir im Durchschnitt vor uns haben; 30 bis 40 gußeiserne Röhren sind in drei Reihen c, c, c hintereinander in einem Ofen mit einem sogenannten Etagenrost aufgestellt. Durch eine schiefe Wand v ist der Raum, in dem der untere Theil der Cylinder sich befindet, in die Abtheilungen p und E geschieden. Durch o tritt kalte Luft ein, kühlt in p die Endstücke der Cylinder und streicht dann nach dem Feuerraum C unter den Rost. Die abziehende warme Luft dient zum Trocknen der auf der horizontalen Platte über den Bogen ausgebreiteten gewaschenen Kohle. Die Cylinder werden mit Kohle beschickt, die, nachdem sie hinlänglich geglüht ist, durch das Oeffnen unten angebrachter Schieber entleert wird, worauf Kohle von oben nachrutscht und Platz zu neuer Füllung entsteht.

6) **Das Verkochen des Klärsels zur Krystallisation.** In dem Vorhergehenden haben wir gesehen, daß der Saft nach der Scheidung durch Einkochen eine fortwährende Concentration erfährt. Es wurde hierbei unbeachtet gelassen, auf welche Weise das Einkochen geschieht, obgleich dies von höchster Bedeutung für die Ausbeute an Zucker ist. Bemerken wir zunächst, daß letzterer beim Erhitzen an der Luft fortwährend eine Veränderung erleidet, was sich durch die zunehmend dunkler werdende Färbung zu erkennen gibt. Es beruht dies darauf, daß ein Theil des Zuckers sich in braungefärbten Schleimzucker verwandelt, der unkrystallisirbar ist und daher für den Zweck der Darstellung verkäuflicher Waare verloren geht. Eine Verminderung dieses Verlustes läßt sich nur herbeiführen dadurch, daß alle Kocharbeit möglichst abgekürzt, sowie daß sie bei Abschluß der atmosphärischen Luft und bei möglichst niederer Temperatur ausgeführt wird.

Diesen Anforderungen entspricht in vorzüglichster Weise die *Vacuumpfanne* (Taf. 9, Fig. 8), bei welcher alle Hülfsmittel der vorangeschrittenen Physik und Mechanik in Anwendung kommen. *Vacuum* nennt der Physiker einen luftleeren Raum, und wir haben uns daher die Vacuumpfanne V als einen ringsum abgeschlossenen, nahezu luftleeren Kessel vorzustellen, wie unsere durchschnittliche Abbildung denselben in vollster Thätigkeit zeigt. Das Verständniß derselben setzt voraus, daß man sich eine ganze Reihe mitwirkender Vorrichtungen, wie Dampfmaschine, Pumpen, Behälter verschiedener Art u. a. m., hinzuzudenken hat.

Die Erhitzung des in der Pfanne befindlichen Zuckersaftes geschieht einestheils durch das in demselben befindliche vielfach gewundene Schlangenrohr s, dem durch d Dampf zugeleitet wird, anderntheils durch den in dem Doppelboden b befindlichen Dampf, den das Rohr d 2 liefert; s′ und b′ führen das in der Schlange und dem Doppelboden condensirte Wasser hinweg. Der aus dem erhitzten Zuckersaft sich erhebende Dampf tritt in den cylindrischen Aufsatz D, *Dom* genannt, der das Uebersteigen des Saftes vermeiden soll, und gelangt durch das Rohr R in den Uebersteiger H und in den *Condensator* C, wo er verdichtet wird. Auf diese Weise wird mit dem Dampf auch die anfänglich in der Vacuumpfanne befindliche Luft aus derselben entfernt, sodaß ein inwendig angebrachtes Barometer m nur 5 — 10 Centimeter Druck anzeigt, gegen 76 Centimeter Luftdruck außerhalb. Der Siedepunkt des Klärsels, der durch das eingelassene Thermometer t beobachtet wird, liegt dann nur zwischen 50 bis 60° R., während es unter dem atmosphärischen Druck erst bei 90° R. siedet. Der *Probestecher* p dient, um Proben des kochenden Inhalts herausnehmen zu können, ohne daß Luft einzudringen vermag; durch das Fenster u läßt sich der Gang des Kochens im Vacuum beobachten, das durch ein Licht an dem zweiten Fenster U′ erleuchtet wird. Durch den *Fetthahn* g kann Luft eingelassen werden, sowie auch Fett, um das Uebersteigen der kochenden Masse zu verhindern. Sobald letztere hinlänglich eingedampft ist, wird sie durch Niederdrücken des Kegels c vermittels des Hebels h entleert und fließt dann durch den Trichter T in dafür bestimmte Behälter. Zum Nachfüllen des Vacuums genügt es, den Saughahn z^0 zu öffnen, um durch den äußern Ueberdruck in den Saugrohren z^1, z^2, z^3, z^4, je nach Bedarf Dünnsaft, Dicksaft oder Wasser aufsteigen und durch das Rohr z eintreten zu lassen.

Wenn bei stürmischem Kochen die Masse in dem Rohr n aufsteigt, so wird sie von der Fangklappe f im Dom zurückgehalten und fließt durch die Oeffnungen k k wieder in das Vacuum zurück. Nichtsdestoweniger ist der Fall vorgesehen, daß Flüssigkeit selbst in den Uebersteiger H treten kann, wo sie dann durch den Hahn q abgelassen wird; die Standrohre i i zeigen beiderseits an, wie es im Innern dieser Vorrichtungen beschaffen ist. Die abziehenden Dämpfe treten in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung in den Condensator C, vertheilen und verdichten sich daselbst in einem System von Röhren r r, die mit kaltem Wasser, von w herkommend, umgeben sind. Das hierdurch warm gewordene Wasser kann durch den Hahn e abgelassen werden.

Das Einkochen des Klärsels im Vacuum wird fortgesetzt, bis dasselbe so concentrirt ist, daß nach dem Entleeren beim Erkalten aus der vollkommen klaren oder blanken Masse das Auskrystallisiren des Zuckers eintritt. Man nennt dies das *Blankkochen* und erkennt die Erreichung dieses Zeitpunktes an der *Fadenprobe*, die darin besteht, daß eine herausgeholte Probe, zwischen Zeigefinger und Daumen auseinandergezogen, steife, abbrechende Fäden bildet. Das Kochen kann jedoch noch weiter fortgesetzt werden und es findet alsdann die Ausscheidung von Zuckerkrystallen bereits in dem Apparate selbst schon statt, was man das *Kochen auf Korn* nennt.

7) **Die Arbeit auf Rohzucker und Brotzucker.** So wie dem Producenten des indischen Zuckers locale Verhältnisse und Zustände es vortheilhafter erscheinen lassen, sich auf die Darstellung von Rohzucker zu beschränken und das Reinigen desselben den Raffinerien zu überlassen, so ist dies auch bei manchen Rübenzuckerfabrikanten der Fall. Ihre Aufgabe ist es daher, einen krümelig krystallinischen, mehr oder weniger bräunlich gefärbten Rohzucker zu erzeugen. Zu diesem Zweck wird der blank oder auf Korn verkochte Zuckersaft, die sogenannte *Füllmasse*, in die Krystallisationskasten von Eisenblech (Fig. 9) ausgeschöpft, die lackirt sind und etwa 240 Pfd. Füllmasse aufzunehmen vermögen. Die Abflußröhren oder *Tillen* dieser Kasten sind verstopft, und letztere werden in der Füllstube bei 25 — 30° R. aufgestellt, worauf die Krystallisation beginnt. Nach 6 — 12 Stunden wird der Stöpsel gezogen, wobei die nicht krystallisirte Masse als sogenannter *Syrup* abfließt; um dessen völliges Abfließen zu bewirken, wird von Zeit zu Zeit mit einem zugespitzten eisernen Dorn in die Tille eingestochen. Nach acht Tagen ist diese Operation vollendet und der fertige Rohzucker wird ausgestochen und ausgeschüttet, wobei man den an der Tille befindlichen syruphaltigen Theil absondert. Er heißt: *erstes Product*, zum Unterschied von dem zweiten, dritten und vierten Product, welche weniger rein sind und bei längerm Stehen aus dem abgelaufenen Syrup noch auskrystallisiren. Zur Gewinnung des vierten Productes wird der Syrup in Behältern von Eisentafeln, die 300 Ctr. aufnehmen, bis zur Dauer eines Jahres der Krystallisation überlassen. Diese Nachproducte werden meist zur Anreicherung der Füllmassen in das Vacuum zurückgebracht, was man das *Einwerfen* nennt. Manche Fabriken arbeiten nur auf erstes und zweites Product, und ziehen es vor, die ablaufenden Syrupe auf die Erzeugung von Spiritus zu verwenden.

Anstatt, wie angeführt, die Trennung des Syrups von den Krystallen durch langsames Ablaufenlassen zu bewerkstelligen, geschieht dies jetzt auch häufig vermittels der *Centrifuge*, durch Ausschleudern. Die Maschine ist der früher beschriebenen ganz ähnlich, nur kleiner. Die eingegebene Füllmasse wird mit einem

kleinen Zusatz von Wasser in einem sogenannten Maischtrog zu einem gleichförmigen Brei verarbeitet und hierdurch die Abscheidung des Syrups so vollständig ermöglicht, daß der aus der Centrifuge kommende Zucker, nachdem er etwas abgetrocknet hat, sofort verkäufliche Waare ist.

Die Brotarbeit, treffender als Melisarbeit bezeichnet, denn ihre Aufgabe ist die Erzeugung von Zucker in Gestalt der im Gebrauch gewöhnlichen Zuckerhüte von weißem Melis, besteht darin, daß die Füllmasse in lackirte Zuckerhutformen von Eisenblech gebracht wird, deren in der Spitze befindliche Oeffnung verstopft ist. Durch öfteres Umrühren, Stirren, bewirkt man eine möglichst gleichförmige Krystallisation, und nachdem diese eingetreten, läßt man den Syrup ablaufen. Ein Theil desselben bleibt jedoch den Krystallen anhängen und wird durch das sogenannte Decken entfernt, indem man auf den breiten Theil des Zuckerhuts eine concentrirte Lösung von reinem Zucker, Decksyrup oder Deckfel, aufgießt, der den braungefärbten Syrup verdrängt. Auch wird letzterer durch Aussaugen auf den sogenannten Nutschapparaten entfernt, indem die Spitzen der Formen luftdicht in die Oeffnungen eines Röhrensystems eingesetzt werden, das mit einer Luftpumpe in Verbindung steht. Sobald durch letztere die Luft innerhalb verdünnt wird, drückt die Atmosphäre mit Gewalt den Syrup durch die Form und aus der Oeffnung der Spitze heraus.

Die aus den Formen genommenen Brote werden in einer auf 40° R. geheizten Stube getrocknet und hierauf ihre immerhin noch gelblich gefärbten Spitzen auf einer Drehbank zu einer neuen Spitze abgedreht, worauf dieselben als Handelswaare zum Verpacken kommen.

Raffinade heißt ein vorzüglicher reiner Melis, der aus den besten Rohzuckern dargestellt wird, indem man dieselben in heißem Wasser auflöst, durch Zusatz von Knochenkohle und von Blut oder Eiweiß entfärbt und klärt. Die vollkommen klare und farblose Flüssigkeit wird alsdann in der oben beschriebenen Masse verkocht und gefüllt.

Der Candiszucker besteht bekanntlich aus großen Krystallen, die zur ihrer Bildung längere Zeit erfordern als die kleinen Kryställchen des Rohzuckers und Melis. Zu seiner Darstellung wird ein möglichst blankes Klärsel bis zur schwachen Fadenprobe verkocht und als Füllmasse in die Candispotten gebracht, runde, nach unten etwas sich verengende Gefäße von Kupfer- oder Eisenblech, in welchen inwendig quer Fäden gespannt sind. Sie werden in der sogenannten Stove, einem auf 40 — 50° R. geheizten Raume 8 — 10 Tage ruhig stehen gelassen, worauf man den nicht krystallisirten Syrup von dem gebildeten Candis ablaufen läßt.

Die Melasse bildet den dunkeln Hintergrund der Rübenzuckerfabrikation und den Gegenstand der nagenden Sorge des Fabrikanten. Während der von den indischen Rohzuckern abfallende Syrup einen reinen Geschmack hat und als Versüßungsmittel verwendbar ist, bietet die Rübenmelasse eine dickflüssige, schwarzgrüne Masse von widrigem Geruch und ekelhaft salzigem Geschmack dar und erweist sich als völlig ungenießbar. Da 100 Pfd. Rüben etwa 2,5 Pfd. Melasse liefern, und diese noch ungefähr 50 Proc. krystallisirbaren Zucker enthält, so läßt sich leicht der Verlust ermessen, der aus diesem Abgang entsteht. Die Verlegenheit war für den Fabrikanten um so größer, als sich kaum eine Verwendung fand für dieses misfällige Nebenproduct. Sein schon am Geschmack erkennbarer Gehalt an Kali- und Natronsalzen macht dasselbe nur mit Beschränkung als Zusatz zum Viehfutter verwendbar, deren Ueberschreitung Diarrhöen veranlaßt. Die Melasse wird daher hauptsächlich auf die Darstellung von Spiritus verarbeitet, der jedoch einen schlechten Geruch und Geschmack hat und nur für technische Zwecke benutzbar ist.

Es fehlt jedoch keineswegs an Versuchen, aus der Melasse noch einen Theil ihres Zuckers zu gewinnen, und man hat in neuerer Zeit hierzu die Dialyse zu Hülfe genommen. Dieselbe beruht darauf, daß Lösungen von verschiedenen Stoffen und ungleicher Stärke, die durch ein Membran voneinander getrennt sind, das Bestreben haben, die Scheidewand gegenseitig zu durchdringen und dies so lange fortzusetzen, bis beiderseits ein Zustand des Gleichgewichts hergestellt ist. Man kann zu dialytischen Versuchen sowol thierische als pflanzliche Häute verwenden, wie z. B. Blase oder Pergamentpapier. Die Erfahrung lehrte hierbei, daß krystallisirbare Stoffe, sogenannte Krystalloide, wozu die Salze und der Zucker gehören, viel schneller durch die Membran hindurchgehen als die unkrystallisirbaren oder Colloide, von welchen die Eiweißstoffe, das Gummi und die schleimigen Stoffe Beispiele sind. Fig. 12 zeigt einen kleinen Apparat zu derartigen Versuchen, einen Dialysator. Er besteht aus einem kleinen Reifen von Guttapercha, welcher auf der einen Seite mit Pergamentpapier überzogen ist. Man stellt den Dialysator auf Wasser, das sich in einem weitern Gefäß befindet, und bringt in denselben die zu dialysirende Flüssigkeit, z. B. Melasse. Da zeigt es sich, daß vor allem die Salze es sind, welche durch die Scheidewand in das Wasser übertreten, sodaß im Dialysator eine Melasse verbleibt, die salzärmer und zuckerreicher ist als vorher. Man hat hierauf ein Verfahren zum Entsalzen der Melassen gegründet, das jedoch bisjetzt ebenso wenig befriedigende Resultate ergeben hat, als die Bemühungen, den Zucker der Melasse an Kalk gebunden durch Spiritus niederzuschlagen und durch Kohlensäure wieder abzuscheiden.

Es war uns nicht gestattet, in dem Vorstehenden mehr als eine flüchtige Skizze der Zuckerfabrikation zu geben, die nur die wichtigsten Momente derselben berühren konnte. Dieselbe genügt jedoch, um nachzuweisen, welchen hervorragenden Antheil die Chemie an allen Vorgängen dieser bedeutenden Industrie hat und wie sehr ihre Besprechung hier am rechten Platze ist.

5. Die Brotbereitung.

Der allgemeine Sprachgebrauch und insbesondere zahlreiche sprichwörtliche Redensarten bezeichnen das Brot als das Nahrungsmittel der Menschen überhaupt, das so hervorragend diesem Zwecke dient, daß es genügt, es statt aller übrigen zu nennen. Und in der That verdient das Brot diesen Vorrang, denn es vereinigt in seiner leichten Verdaulichkeit, seiner Nahrhaftigkeit und Haltbarkeit Vorzüge, die es geeignet machen, ausschließlich das Leben des Menschen zu unterhalten, wie dies kein anderer Nahrungsstoff zu thun im Stande ist. Wesentlich verdankt wird dies den Bestandtheilen der Getreidekörner, welche das Mehl zur Brotbereitung liefern und die der Hauptsache nach aus Stärkemehl, Eiweißstoffen und phosphorsaurem Kalk bestehen, dem Material, aus welchem der menschliche Organismus seinen Athmungsproceß und die Bildung von Blut und Knochenmasse bestreitet. Aber nicht in jeder Form genossen leistet das Mehl gleichen Dienst. Mit Wasser angerührt, bildet es einen faden, schwerverdaulichen Teig, der niemand zusagt. Wird

dieser Teig sofort gebacken, so liefert er keineswegs Brot, sondern eine harte, dichte Masse, geschmacklos, wie die Osterkuchen (Mazzen) der Juden und der Schiffszwieback. Der Teig muß zu diesem Zweck in die Form flacher Kuchen gebracht werden, wie deren in Schottland, im nördlichen Indien, von den Nomaden Afrikas u. a. m. angefertigt und meist auf heißen Steinen gebacken werden. Diesen Kuchen ist die Nahrhaftigkeit nicht abzusprechen, auch besitzen sie den Vorzug großer Haltbarkeit. Allein sie sind schwer zu verdauen, und ihr Mangel an Wohlgeschmack läßt dem Juden den Eintritt des Passahfestes, das ihn wochenlang zum Genuß der Mazzen verurtheilt, nicht als ein Freudenfest, sondern als ein Gedächtniß der Tage schwerer Bedrängniß und Entbehrung begehen.

Das gute Brot, dessen als täglicher Nahrung auch der verwöhnteste Gaumen nicht überdrüßig wird, zeichnet sich aus durch seine lockere Beschaffenheit. Der innere Theil, die Krumme, besteht aus einer elastischen zelligen, blasigen Masse, die um so besser gerathen ist, je gleichförmiger sie erscheint, ohne größere Zwischenräume und ohne dichte, feste Partien, sogenannten Wasserrand, und ohne eingestreute Mehlklümpchen. Der äußere Theil des Brotes, die Kruste, ist hart, glänzend, gelb bis dunkelbraun gefärbt und von dem eigenthümlichen angenehmen Röstgeschmack. Im übrigen gibt es Brotsorten von erheblichem Unterschied, wie insbesondere das Weißbrot, das aus Weizenmehl, und das Schwarzbrot, das aus Roggen bereitet wird, zwischen welchen das aus beiden Getreidearten gemischte Brot steht. Es unterscheidet sich ferner das Hefenbrot durch weniger ausgesprochenen Geschmack von dem säuerlich schmeckenden, mit Sauerteig erzeugten Brot.

Ueberall wo wir in geschichtlichen Ueberlieferungen dem Brote begegnen, weist dieses auf das Vorhandensein eines Culturvolks hin, sei es, daß in Ruinen und Schutt begraben Backvorrichtungen sich erhalten haben, oder daß, wie in der Heiligen Schrift, zahlreiche Anführungen des Brotes seine Bedeutung hervorheben. Solange ein Volk nicht zum Brotbacken zu bringen ist, solange verbleibt es der Cultur unzugänglich. Denn nicht nur setzt der Gebrauch des Brotes den Ackerbau voraus, sondern es kann auch der langsame Gang seiner Bereitung und die Errichtung des in Mauerwerk auszuführenden Backofens nicht ohne ein seßhaftes Volk gedacht werden.

Unterwerfen wir die Hauptvorzüge des Brotes, seine Verdaulichkeit und Lockerheit, der nähern Betrachtung, so ergibt sich, daß bei seiner Bereitung die Bestandtheile des verwendeten Mehles keine wesentliche chemische Veränderung erleiden. Wird Stärke, welche den Hauptbestandtheil des Mehles ausmacht, mit Wasser gekocht, so quillt sie auf und bildet den sogenannten Kleister. Während sie vorher unlöslich war, ist sie nunmehr theilweise löslich. Daher kommt es, daß eine Mehlsuppe, zu der Mehl mit Wasser gekocht worden ist, als Speise den Vorzug verdient vor blos mit Wasser angerührtem Mehl. Bei ersterer ist durch die Einwirkung der Hitze die Stärke in den leicht löslichen Zustand übergeführt worden. Aehnlich verhält es sich beim Brotbacken. Im Innern des Brotes steigt die Hitze nicht über den Siedepunkt des Wassers und bewirkt eine entsprechende Umwandlung der Stärke. Weiter gehend ist die Veränderung an der Außenseite des Brotes, bei der Kruste, wo durch die stärkere Hitze die Stärke theilweise in Gummi übergeführt wird, theilweise jene eigenthümlichen Röstproducte gebildet werden, die sich auszeichnen durch ihre bräunliche Färbung und den ansprechenden Geruch und Geschmack. Bekanntlich treten auch beim Braten des Fleisches ähnliche Erscheinungen auf, die den Wohlgeschmack desselben wesentlich erhöhen, allein in beiden Fällen ist uns die chemische Natur der dabei gebildeten Stoffe wenig bekannt.

Die Lockerheit des Brotes, welche mit beiträgt zur Leichtverdaulichkeit desselben, wird herbeigeführt durch eine in der Masse des Teiges bewerkstelligte Entwickelung von Kohlensäure. Indem die Zähigkeit des Teiges die Entweichung der Gasblasen hindert und die Wärme dieselben ausdehnt, findet ein allgemeines Aufblähen des Teiges statt, was eine Erhebung desselben, das sogenannte Gehen, zur Folge hat. Nachzuweisen ist nun, wie eine solche Kohlensäure-Entwickelung zu Stande kommt. Hierbei hat man sich zu erinnern der nahen chemischen Beziehungen, in welchen Stärke, Zucker, Weingeist, Kohlensäure, Essigsäure und Milchsäure zueinander stehen, wie dies bei der Gärung (S. 30) bereits nachgewiesen wurde. Man hat sich ferner zu erinnern, wie sehr die in den Getreidekörnern enthaltenen Eiweißstoffe geneigt sind, die Rolle eines Gärungserregers oder Ferments zu übernehmen.

In Hinsicht auf seine chemischen Bestandtheile weicht das Mehl von dem Getreide, aus dem es dargestellt worden ist, insofern ab, als durch das Mahlen die äußere Hülse des Fruchtkorns, die aus Zellstoff besteht, entfernt und dadurch das Mehl an diesem ärmer wird und dafür reicher an Stärke. Ein Theil der letztern ist übergegangen in Zucker und Gummi, sodaß die wichtigern Mehlsorten in Procenten die folgende Zusammensetzung darbieten:

	Weizenmehl	Roggenmehl	Gerstenmehl
Wasser . . .	15,5	14,6	14,0
Zellstoff . .	5,2	7,3	8,0
Eiweißstoffe und Pflanzenleim	5,4	4,4	4,9
Stärke . . .	63,6	64,2	53,1
Gummi . .	6,2	4,1	6,3
Zucker . . .	2,3	3,4	3,0

wozu noch kleine Mengen eines Fettkörpers, phosphorsaurer Kalk und Sand als Abgang vom Mühlstein kommen.

Ueberläßt man einen aus Wasser und Mehl angerührten Teig an einem warmen Orte sich selbst, so nimmt er einen eigenthümlichen, geistigen und sauern Geruch an und bildet den sogenannten Sauerteig. Unter dem Einfluß der als Ferment wirkenden Eiweißstoffe tritt hierbei eine Gärung des im Mehle vorhandenen Zuckers ein, wodurch Kohlensäure und Weingeist entstehen. Indem letzterer in Essigsäure und Milchsäure übergeht, wird der Teig sauer. Nimmt die also begonnene Zersetzung des Teiges ungestört ihren Fortgang, so stellt sich Fäulniß ein. Wird jedoch der Sauerteig rechtzeitig verwendet, indem er durch Kneten sorgfältig mit frischem Teige vermischt wird, so wirkt er in letzterm als Gärungsmittel und ruft in der ganzen Masse desselben eine rasche Zersetzung von Zucker in Kohlensäure und Weingeist hervor, was das oben angeführte Gehen des Teiges zur Folge hat. Ganz in derselben Weise wirkt Hefe, wenn sie frischem Teig eingeknetet wird, und es hängt von Gewohnheit und Liebhaberei ab, ob man sich der einen oder andern der genannten Fermente beim Brotbacken bedient.

Wir haben demnach dreierlei Material zur Brotbereitung, nämlich Mehl, Wasser und Gärungsmittel. Als Zusatz dienen Salz und an manchen Orten Gewürz, wie insbesondere Kümmel oder Fenchel.

Das Mehl vermag ungefähr zwei Drittel seines Gewichtes Wasser zu binden, um einen Teig von ge-

eigneter Dicke zu bilden; man rechnet ferner auf 100 Theile Mehl 4 Theile Sauerteig, oder bei Weißbrot 2 Theile Preßhefe. Das Anmachen des Teiges geschieht mit lauwarmem Wasser von 21 — 37° R.

In der Regel wird jedoch nicht jedesmal Sauerteig dem zu einem Backgang dienenden Mehle frisch zugesetzt, da es sich viel vortheilhafter erweist, einen Theil des richtig in Gärung versetzten, gegangenen Teiges zurückzubehalten und diesem frischen Teig zuzusetzen, was in Bäckereien mit raschem Betrieb bis zur Hälfte der Teigmasse geschieht. Da die Güte des Brotes hauptsächlich von einer möglichst gleichförmig in seiner ganzen Masse sich vollziehenden Gärung abhängt, so wird diese leichter bewirkt, wenn dem frischen Teig eine größere Masse bereits in Gärung begriffenen Teiges zugesetzt wird, als wenn derselbe mit nur wenig Sauerteig vermischt wird, dessen gleichmäßige Vertheilung eine sehr sorgfältige und mühsame Knetarbeit erfordert.

Hat der Teig die erforderliche Beschaffenheit erreicht, so wird er ausgewirkt, d. h. in die Form von Broten oder Laiben gebracht. Unmittelbar vor dem Einschieben in den Backofen werden dieselben mit lauem Wasser bestrichen, welches aus dem Teig etwas Gummi auflöst, wodurch die Kruste beim Backen einen schönen Glanz erhält. Da die Brote während des Backens durch Wasserverdunstung beträchtlich an ihrem Gewicht verlieren, das Gewicht des verkäuflichen Brotes aber behördlich vorgeschrieben ist, so muß bei dessen Auswirkung entsprechend mehr Teig genommen werden, und zwar um so mehr, je kleiner das Brot ist.

Die durchschnittliche Temperatur des Backofens ist 200° R.; dieselbe reicht hin, um die Stärke in den leicht löslichen Zustand überzuführen und die Kruste des Brotes zu bilden; sie dehnt ferner die im Innern der Teigmasse gebildete Kohlensäure aus. Die zähe Beschaffenheit derselben, herrührend von dem Gehalt des Mehls an Pflanzenleim, hindert jedoch das Entweichen der Gasblasen, die daher den Teig aufblähen. Die zahlreichen Poren des Brotes stellen die von der Kohlensäure aufgetriebenen Zellräume dar. Der gleichzeitig gebildete Weingeist wird durch die Hitze verflüchtigt und geht verloren. Bei der ungeheuern Menge des täglich erzeugten Brotes ist dieser Verlust an Weingeist sehr bedeutend, bei den einzelnen Backöfen jedoch zu gering, als daß dessen Gewinnung der Mühe lohnte.

In Jahren des Mangels und der Theuerung ist die Frage nach Ersatzmitteln des Mehls zur Brotbereitung entstanden. Stoffe ohne Nahrungswerth, wie Sägemehl, die zur Vermehrung der Masse zugesetzt werden, sind als Ersatzmittel nicht zu betrachten. Dagegen verträgt das Brot eine Zuthat von Erbsenmehl und Kartoffelmehl in gewisser Grenze, ohne Minderung seines Werthes. Die Vortheilhaftigkeit dieses Verfahrens wird jedoch bedingt durch den Preis dieser Zusätze, der in der Regel in gleichem Verhältniß steigt wie die Fruchtpreise, und es sich dann mehr empfiehlt, diese Nahrungsmittel für sich zu genießen.

Da während der Brotgärung stets ein Theil der Mehlbestandtheile in Kohlensäure und Weingeist übergeführt und somit für die Ernährung verloren werden, so suchte man nach Mitteln, diesen Verlust zu vermindern. Ein solches besteht darin, daß man dem Teige doppeltkohlensaures Natron und verdünnte Salzsäure beimengt; es bildet sich hierbei Kochsalz, das dem Brote verbleibt, während die frei werdende Kohlensäure den Teig lockert. Auch sucht man denselben Zweck zu erreichen, indem man dem Teige sogenanntes **Backpulver** zusetzt, das einerseits aus doppeltkohlensaurem Natron und andererseits aus saurem phosphorsaurem Kalk oder Weinsäure besteht. Der Zusatz des phosphorsauren Kalks soll Ersatz bieten für den Abgang dieses Bestandtheils des Getreidekorns, der hauptsächlich in der Hülse desselben enthalten ist und beim Mahlen mit der Kleie entfernt wird.

Die letztgenannten Methoden bieten den Vortheil, daß sie die Vornahme der Backarbeit jederzeit gestatten, indem nicht erst der länger dauernde Gärungsproceß abgewartet werden muß; es kann insbesondere bei ihrer Anwendung die lästige Nachtarbeit in der Bäckerei in Wegfall kommen. Andererseits sollen die Kosten für Anschaffung des erforderlichen Materials nicht gedeckt werden durch einen entsprechenden Mehrertrag an Brotgewicht. Da ferner bei diesem Verfahren die Entwickelung der Kohlensäure eine plötzliche ist, so kann sie nicht wohl so gleichförmig durch die ganze Teigmasse vertheilt auftreten, wie dies bei Anwendung der Gärmittel der Fall ist, und daher fällt das sich ergebende Brot weniger locker aus. Am meisten wird sich die Anwendung von Backpulver empfehlen für Feldbäckereien.

Gehen wir nun über zur Ausführung der Backarbeit selbst, so überzeugt uns die Betrachtung des **Backofens**, daß in der Bäckerei, ähnlich wie im Mühlwesen, jahrhundertelang nicht der mindeste Fortschritt stattgefunden hat, ja es zeigt der in dem Bäckerhaus von Pompeji ausgegrabene Backofen bis ins kleinste dieselbe Construction, die man noch heute an Backöfen auf dem Lande findet. Ein derartiger primitiver Backofen besteht aus einem runden oder ovalen Herde, überspannt von einem niedern Gewölbe, das im Stande ist, die Hitze gut zu reflectiren. Derselbe ist aus Backstein und Lehm aufgemauert und die nach hinten etwas ansteigende Sohle des Herdes ist mit Ziegelsteinen belegt oder aus Lehm geschlagen. An seiner vordern Seite befindet sich das sogenannte **Mundloch**, welches sowol zum Anlegen des Brennmaterials als auch später zum Einschießen des Brotes dient. Beim Heizen bleibt das Mundloch offen, und es tritt alsdann durch seinen untern Theil die erforderliche Luft ein, während aus dem obern die Verbrennungsproducte sammt dem Rauch austreten und durch einen oberhalb angebrachten Rauchkanal entweichen.

Zum Heizen des Backofens wendet man klein gespaltenes trockenes Holz an, wozu Kiefernholz ganz besonders sich eignet, und daß der Ofen die geeignete Temperatur erreicht hat, erkennt der Bäcker daran, daß beim Reiben der Sohle des Herdes mit einem Stück Holz Funken sich zeigen. Dieselbe beträgt alsdann 200 — 225° R. Das Holz ist zu Kohlen herabgebrannt, welche rasch aus dem Ofen gezogen und in einer vor demselben befindlichen Vertiefung durch Decken mit Asche gelöscht werden. Man beeilt sich, die Sohle des Ofens vermittels eines nassen Wischers von Asche zu reinigen, und beginnt sogleich mit dem Einschießen des zu backenden Brotes, worauf das Mundloch durch eine eiserne Thüre verschlossen wird. Zwei zu beiden Seiten derselben befindliche kleine Oeffnungen gestatten durch Einschiebung brennender Späne eine Erleuchtung des Ofens während dieser Arbeit.

Bei der beschriebenen Einrichtung entweichen Hitze und Rauch durch das Mundloch und werden sehr lästig. Es ist daher ein erheblicher Fortschritt, wenn das Mundloch c (Taf. 10, Fig. 6) des Backofens nur zum Heizen und Einschieben dient, während die Verbrennungsgase durch einen Kanal e e vom hintern Theil der Sohle in das Kamin y abziehen. Durch einen Schieber u kann die Oeffnung des Abzugskanals und somit der Zug regulirt werden. Die ausgezogenen

Kohlen werden zur Ablöschung in den Raum m unter dem Backofen gebracht. Die Vertiefung x vor demselben erleichtert den Stand des Arbeiters. Der über dem Backofen befindliche Raum z dient als Backstube und empfängt von diesem die abgehende Wärme, welche die Ausbildung des Teiges begünstigt.

Beim Herausnehmen des Gebäcks kühlen Backöfen der beschriebenen Art sich ab und müssen für weitern Gebrauch wieder geheizt und gereinigt werden. Diese störenden Unterbrechungen fallen hinweg bei dem *continuirlichen Backofen* (Fig. 7 und 8) wo Sohle und Gewölbe von außen durch eine Circulation der Feuerung geheizt werden. Das über den beiden Feuerungen n n angezündete Feuer verbreitet die heiße Luft unter dem Backraum a a, dessen Sohle auf den Kanten von Backsteinen ruht (Fig. 8), worauf sie, durch b b über das Gewölbe hinstreichend, nach dem Kamin entweicht. Auch hier wird die abgehende Wärme benutzt, um die über dem Backofen befindliche Backstube x zu erwärmen. Die getrennte Feuerung dieses Backofens gestattet die Anwendung von Steinkohlen, welche auf der bloßen Sohle eines gewöhnlichen Ofens nicht gut brennen.

6. Brotfabrikation.

Das charakteristische Merkmal einer Fabrikation sind massenhafte Production, Theilung der Arbeit, Anwendung der Maschine an Stelle der Handarbeit. Hieraus erklärt sich, daß eine fabrikmäßige Erzeugung von Brot nur erst in neuerer Zeit und unter besondern Umständen sich vortheilhaft erweisen konnte, wie an Orten mit dicht gedrängter, starker Bevölkerung und unter den günstigsten Transportverhältnissen, da der Preis und die Haltbarkeit des Brotes eine längere Reise nicht vertragen. Bei der Einfachheit des ganzen Verfahrens ist eine Theilung der Arbeit nicht zu erwarten, wohl aber ist es gelungen, die außerordentlich anstrengende Arbeit des Knetens der Maschine zu übertragen, und es beruht hierin ein wesentlicher Fortschritt.

Von der großen Anzahl verschiedener *Knetmaschinen*, die construirt worden sind, beschreiben wir deren zwei, die sich in vorzüglicher Weise bewährt haben. Die erste, welche den Teig zu dem Commißbrot einer Militärbäckerei im größten Maßstabe bearbeitet, ist auf Taf. 10, Fig. 4 abgebildet. Eine kreisrunde, niedrige Trommel T aus starkem Eisenblech und von etwa 2 Meter Durchmesser dreht sich in der Richtung des Pfeiles um die verticale Achse A, vermittels am Rande, unterhalb ihres Bodens befindlicher Zähne, in welche ein Kegelrad eingreift, beides in der Vertiefung v v angebracht und daher auf der Zeichnung nicht sichtbar. Ebendaselbst ruht auch die Achse von A in einem Zapfenlager. An ihrem untern Ende befindet sich ein Cylinder c, wodurch zwischen diesem und der Trommel ein ringförmiger Knetraum gebildet wird, in welchen nach Bedarf das Mehl von den im obern Stockwerk befindlichen Magazinen durch einen sackähnlichen Schlauch herabgelassen wird; durch zwei mit Hähnen versehene Zuleitungsröhren kann das erforderliche kalte und warme Wasser zugelassen werden. Außerdem wird noch der Sauerteig zugegeben.

Die Knetarbeit wird bewirkt durch ein gabelförmiges Rührwerk R von höchst einfacher Construction. Eine durch Dampfkraft in Umdrehung versetzte Achse ist mit einem Querstück verbunden, an dessen beiden Enden sich je ein bis dicht über den Boden der Trommel herabreichender Arm a a befindet. Die Umdrehung geschieht in einem der Trommel entgegengesetzten Sinne, und indem diese Arme fortwährend Kreise beschreiben, mischen und verarbeiten sie die durchpassirende Teigmasse auf das vollkommenste. Die Trommel dreht sich in einer Minute siebenmal um ihre Achse, während die Rührgabel in derselben Zeit 25 Umdrehungen macht, wodurch eine Teigmasse für 200 Brote zu 2 Kilo innerhalb 15 Minuten hergestellt wird. Dieselbe bedarf keiner weitern Behandlung, als daß davon die für je ein Brot bestimmten Portionen abgewogen und mit einigen Handgriffen in die geeignete Form gebracht werden.

So gute Dienste diese Vorrichtung leistet für den erwähnten Zweck, so bedürfen doch die feinern Brotsorten einer sorgfältigern Verarbeitung des Teiges, wie dieselbe in der Knetmaschine Fig. 5 vor sich geht, welche kleinere Dimensionen hat, sodaß in derselben der Teig für 100 Brote zu 2 Kilo fertig gemacht werden kann. Dieselbe besteht aus einem feststehenden halbrunden Trog T von Eisenblech, durch dessen Wand die horizontale Flügelachse A geht, an welcher die eigenthümlich geschwungenen, 3 Centimeter breiten Leisten L L befestigt sind und mit derselben das Rührwerk bilden. Dieses wird durch die Uebersetzung verschiedener Zahnräder in zwölf Umdrehungen in der Minute versetzt. Die von den Rührleisten dargestellten Curven sind lediglich durch die Erfahrung gefunden. Bei dem Wege, den sie beschreiben, kann kein Theil der Teigmasse denselben entgehen. Nach 15 Minuten ist dieselbe fertig und wird entleert. Zu diesem Zwecke wird durch An- und Abziehen von Stellschrauben der Trog drehbar um die nunmehr festgestellte Flügelachse A gemacht; vermittels der Kurbel k wird ein Rad in Umdrehung versetzt, das in eine Verzahnung am Rande des Trogs eingreift und diesem die erforderliche Neigung gibt, sodaß der Teig rasch in einen untergestellten Eimer entleert werden kann.

Mit einer so raschen und massenhaften Anfertigung von Teig muß eine entsprechend fördernde Backeinrichtung Hand in Hand gehen, und als eine solche bewährt sich der *Hochdruck-Wasserheizungs-Backofen von Wieghorst*, den uns Fig. 9 im Längsschnitt und Fig. 10 im Querschnitt zeigt. Der Backraum a a wird geheizt durch ein oberes System eiserner Röhren r r und ein unteres r′ r′, deren je nach Größe des Backofens 10 — 30 nebeneinanderliegen. Dieselben besitzen eine Länge von 3,5 Meter, bei einem Durchmesser von 6 Centimeter und etwa 0,5 Centimeter Wandstärke. Diese Röhren bestehen aus gezogenem Schmiedeeisen, sind zur Hälfte mit Wasser gefüllt und an beiden Enden fest zugeschweißt. Sie sind vorher einer hydraulischen Probe von etwa 400 Atmosphären Druck unterworfen worden. Bei der zum Brotbacken erforderlichen Temperatur von 200 — 220° R. erhebt sich jedoch der in den Röhren entstehende Druck nicht über 800 — 100 Kilo für den Quadratcentimeter. Zu dessen Beurtheilung ist eine der Heizröhren verlängert und in Verbindung gesetzt mit einem an der Vorderwand des Backofens befindlichen Manometer. Sobald dieses einen höhern Druck anzeigt, kann durch Oeffnen der Regulatoren T′ und Schließen der Zugthüren T die Temperatur des Backofens auf die gewünschte Höhe gebracht werden. Die letztere wird überdies noch durch ein außen sichtbares Pyrometer angegeben, und man ist auf diese Weise Herr der Hitze, wie dies bei keiner andern Einrichtung möglich ist.

Das in den Heizröhren befindliche Wasser wird nicht verzehrt, da ihm ein Ausweg nicht gestattet ist; es kommt jedoch mitunter vor, daß in einzelnen Röhren höchst feine Oeffnungen sich befinden, sogenannte Sandporen, die bei dem kalten hydraulischen Druck nicht

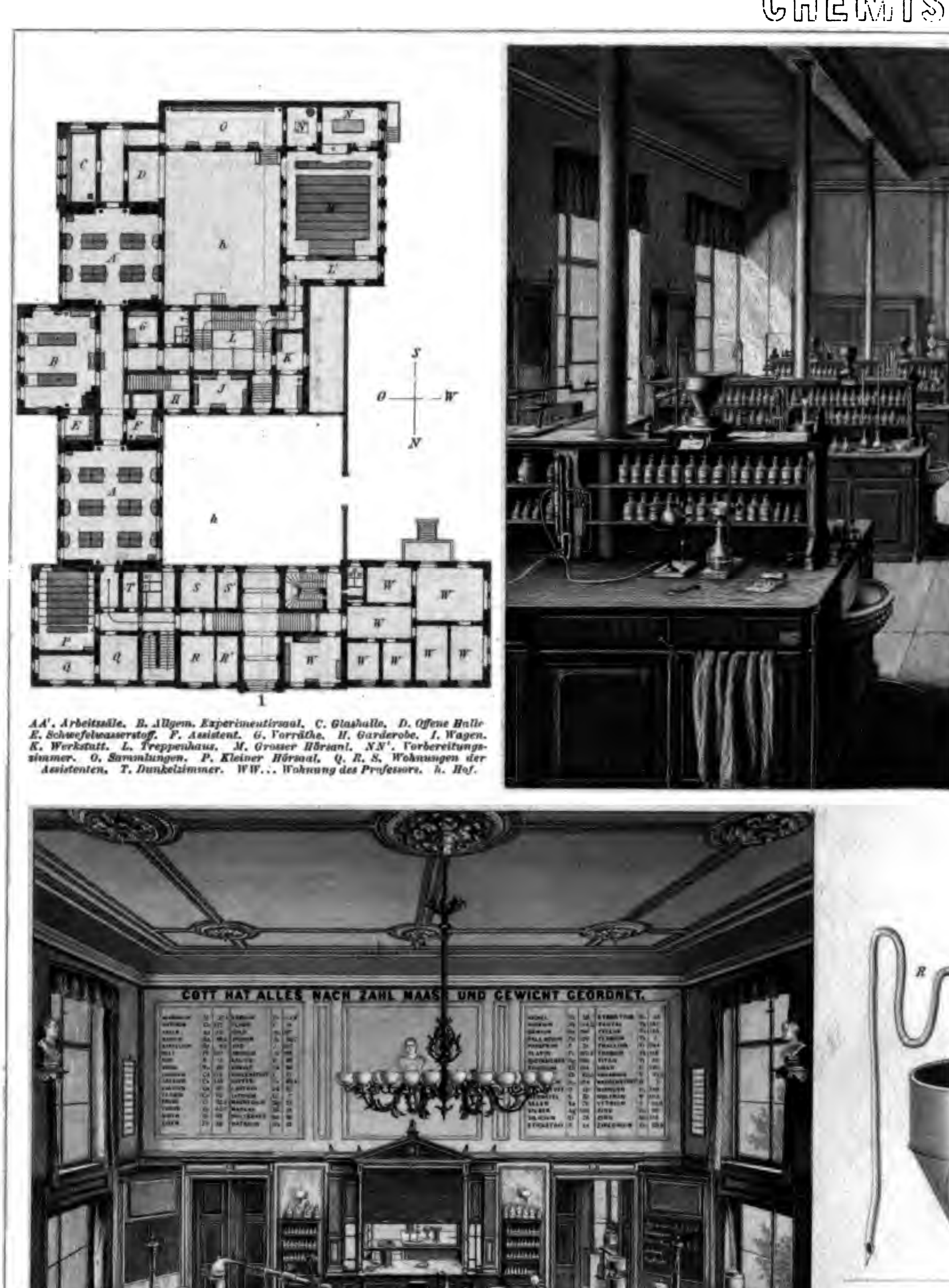
bemerklich werden, die jedoch bei der Aenderung, welche die Structur des Eisens in der Hitze erleidet, Wasserdampf entweichen lassen. Die Anwesenheit eines solchen fehlerhaften Rohres wird alsbald daran erkannt, daß sein dem Feuer ausgesetztes Ende glühend wird, wenn sein Wassergehalt verdunstet ist. Es genügt alsdann, dieses Rohr herauszunehmen und dasselbe durch Einschiebung eines andern zu ersetzen, zu welchem Zwecke stets einige Röhren vorräthig gehalten werden. Der Betrieb leidet durch diesen, übrigens sehr selten nöthig werdenden Wechsel nicht die mindeste Störung.

Die Heizung der Röhren geschieht mit einem äußerst geringen Aufwand von Kohle, wie aus der Abbildung ersichtlich, indem nur ein Ende derselben von etwa 40 Centimeter der Wirkung des Feuers ausgesetzt wird.

Als Sohle des Backofens dient eine Platte von Eisenblech b b, welche auf sechs kleinen Rädern ruht, die auf zwei Schienen s s laufen, die sich außerhalb in gleicher Länge fortsetzen und von Stützen St getragen werden, sodaß die Backplatte leicht herausgezogen und eingeschoben werden kann. Sobald ersteres geschehen ist, wird der in Brote geformte Teig aufgelegt und mit einem Ruck eingeschoben. Das Oeffnen und Schließen der schweren Ofenthüre, die einen dichten Verschluß gewähren muß, wird erleichtert durch ihre Verbindung mit dem über einer Rolle beweglichen Gegengewicht G. Der Backofen wird mit 120 bis 160 Broten zu 2 Kilo beschickt, deren Backen 2—3 Stunden erfordert.

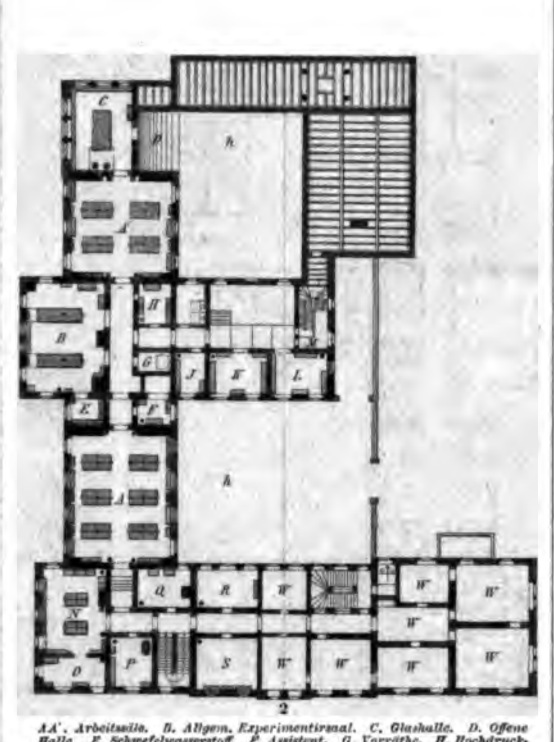
Die Fabrikation des Brotes bei vereinter Anwendung der vorstehend beschriebenen Knetmaschine und Backofeneinrichtung gewährt, bei großer Reinlichkeit, den außerordentlichen Vortheil, daß zur Ausführung aller Verrichtungen gewöhnliche Arbeiter verwendbar sind, unter Leitung eines tüchtigen Backmeisters. Es fällt nicht nur die Handknetarbeit hinweg, sondern auch das Einschießen der Brote, beides mühsame Verrichtungen, von welchen insbesondere die letztere eine große Uebung und Körperkraft erfordert. In der Militärbäckerei zu Mainz, wo zehn Wieghorst'sche Backöfen aufgestellt sind, hat sich dieser fabrikmäßige Betrieb in den Jahren 1870 und 1871, wo zeitweise der Brotbedarf nicht nur für die Garnison, sondern auch für 25000 Kriegsgefangene zu bestreiten war, vorzüglich bewährt.





Chemisches Laboratorium zu Leipzig: 1 *Erdgeschoss.* 2 *Oberer Stock.* 3 *Grosser Hörsaal.* 4 *Ansicht d*





2

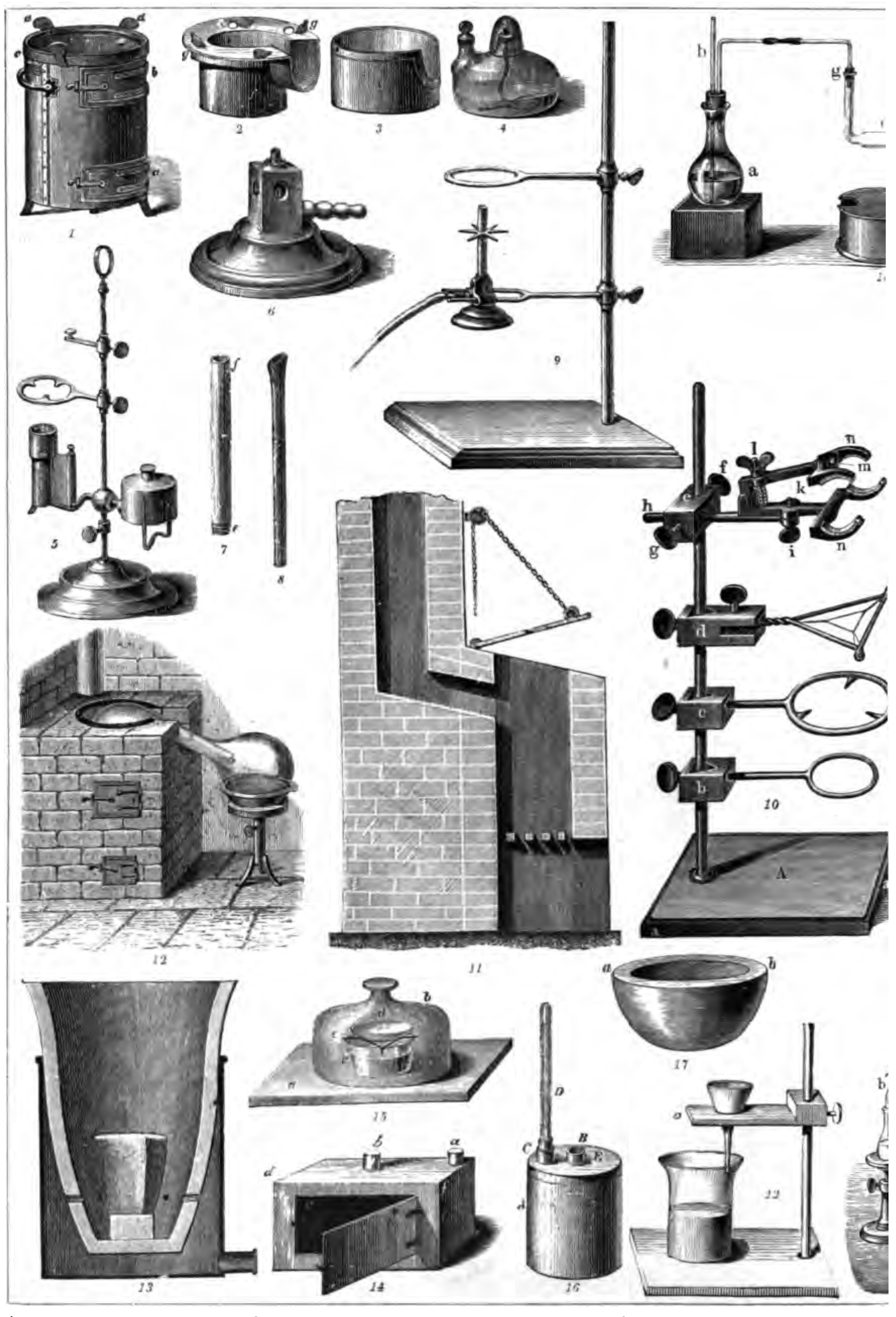
AA'. Arbeitssäle. B. Allgem. Experimentirsaal. C. Glashalle. D. Offene Halle. E. Schwefelwasserstoff. F. Assistent. G. Vorräthe. H. Hochdruck-Arbeiten. I. Luftpumpen. K. Wagen und Bibliothek. L. Organische Analyse. M. Garderobe. NO. Professors Laboratorium u. Geschäftszimmer. P. Baderaum. Q. Spectralanalyse. R. Instrumente. S. Gasanalyse. WW... Wohnung des Professors. h. Hof.



5

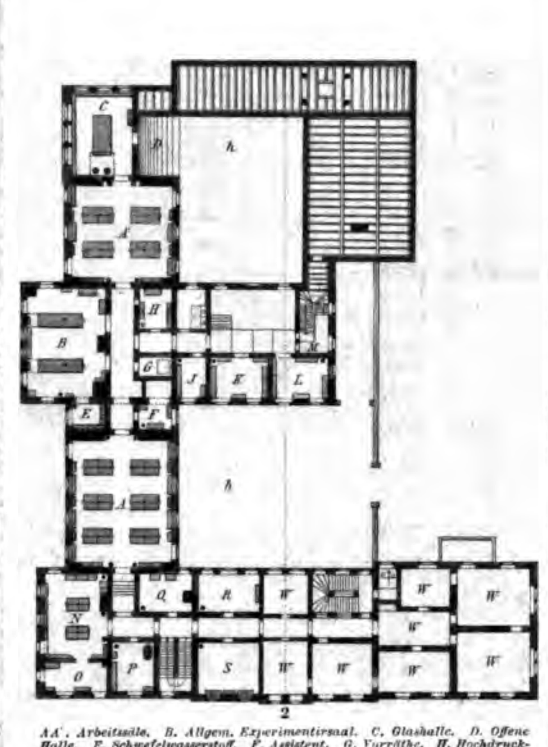
A im obern Stock. [5] ***Ansicht eines Arbeitstisches zu vier Plätzen.*** [6] ***Filtrir- und Auswaschapparat von Bunsen.***

CHEMISCH



[1] Universalofen. [2] Kapelle des Universalofens. [3] Ring zur Kapelle. [4] Gläserne Spirituslampe. [5] Spirituslampe mit
der Gaslampe. [9] Gaslampe mit Stativ. [10] Universalstativ. [11] Schmelzofen. [12] Destillirofen. [13] Sefström'scher Ofen
säurebestimmung. [20] Wage. [21] Apparat zur Salpetersäurebestimmung. [22] Filtr





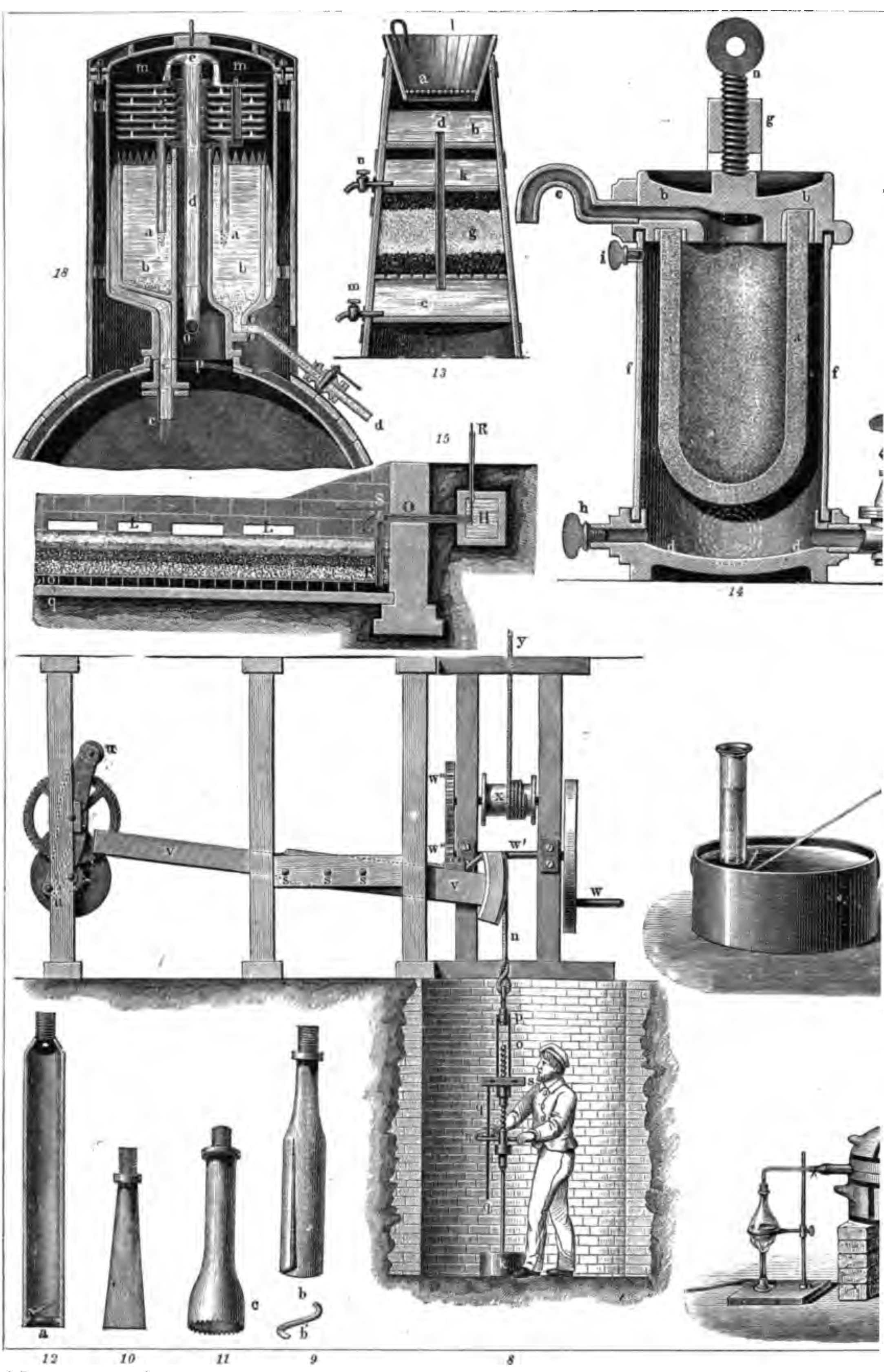
2

AA'. Arbeitssäle. B. Allgem. Experimentirsaal. C. Glashalle. D. Offene Halle. E. Schwefelwasserstoff. F. Assistent. G. Vorräthe. H. Hochdruck-Arbeiten. I. Luftpumpen. K. Wagen und Bibliothek. L. Organische Analyse. M. Garderobe. NO. Professors Laboratorium u. Geschäftszimmer. P. Baderaum. Q. Spectralanalyse. R. Instrumente. S. Gasanalyse. WW... Wohnung des Professors. h. Hof.

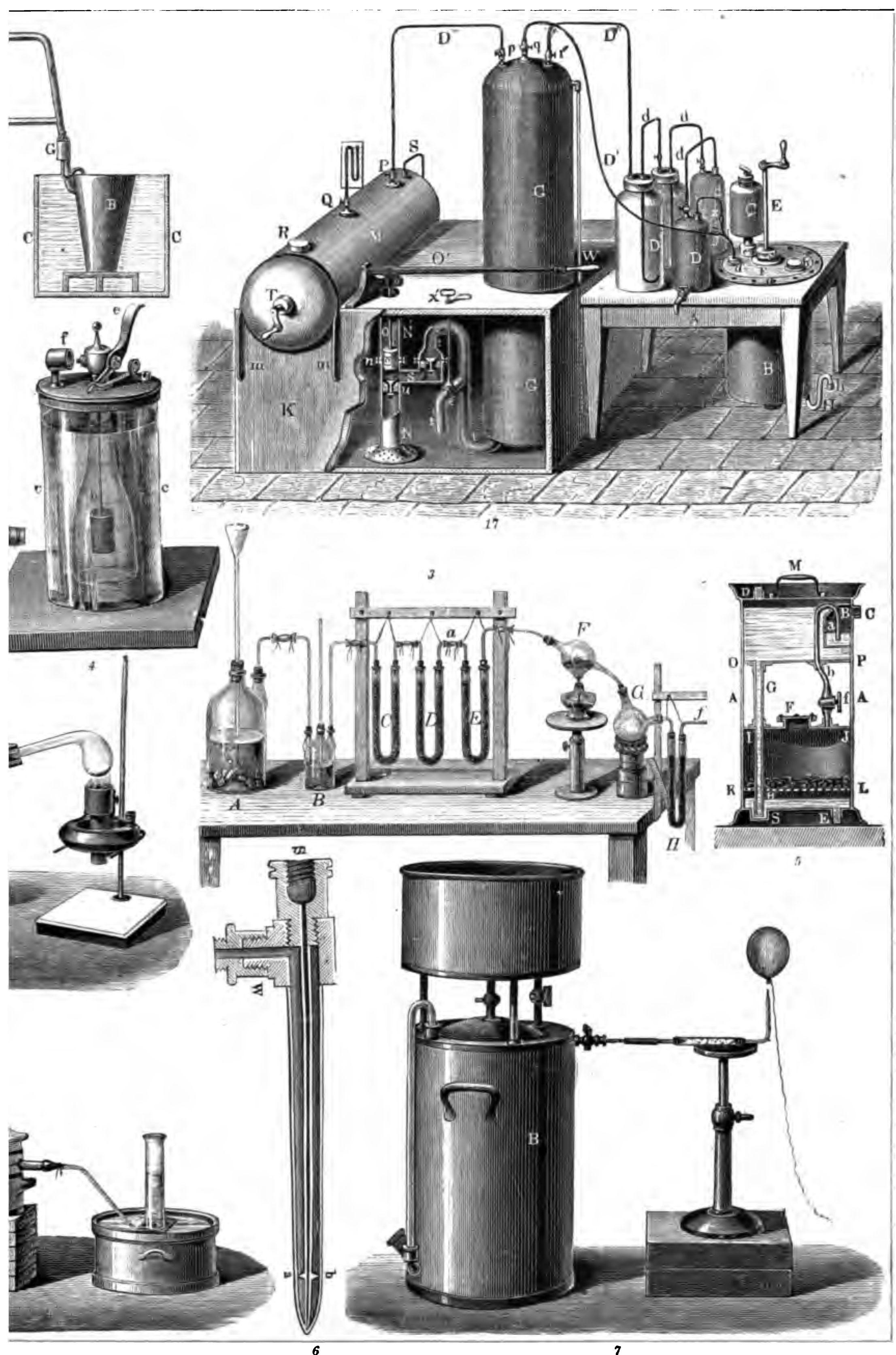


5

A im obern Stock. [5] *Ansicht eines Arbeitstisches zu vier Plätzen.* [6] **Filtrir- und Auswaschapparat von Bunsen.**

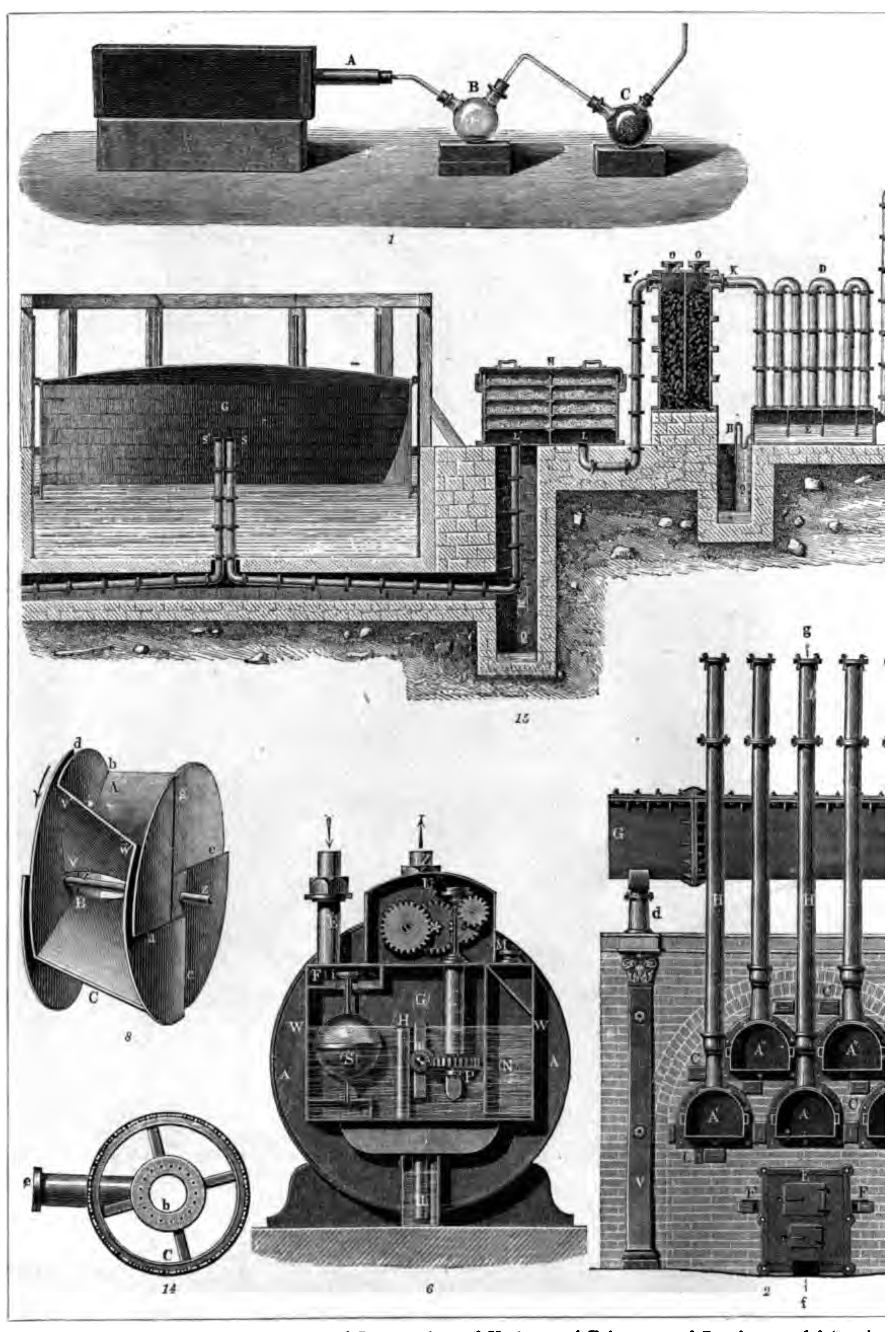


[1] *Darstellung von Sauerstoff.* [2] *Zerlegung von Wasser.* [3] *Bildung von Wasser.* [4] *Platinfeuerzeug.* [5] *Wasser*
[16] *Eisapparat.* [17] *Künstlic*

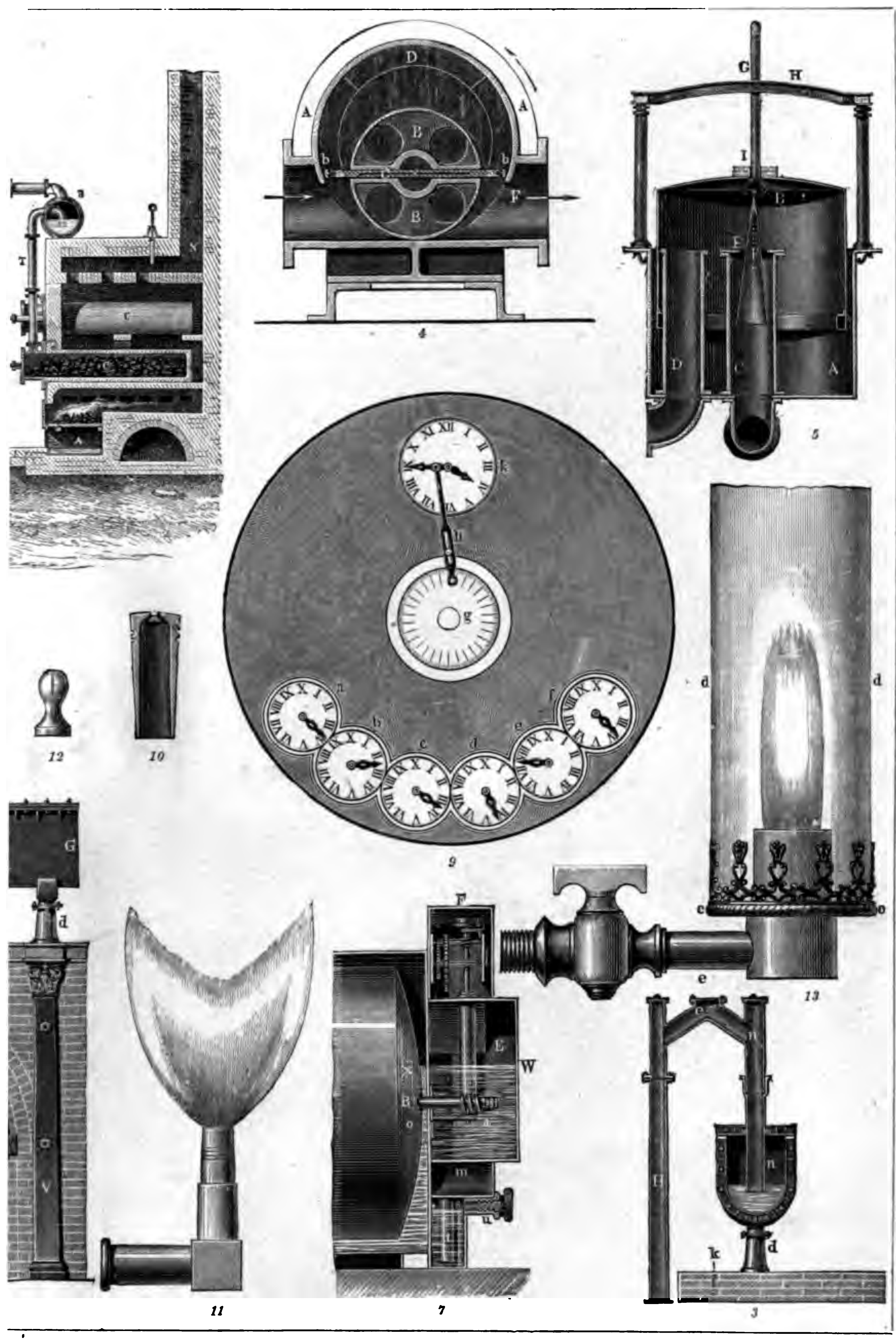


parat. 6 Knallgasbrenner. 7 Gasometer. 8 Artesischer Brunnen. 9-11 Bohrer. 12 Löffel. 13-15 Wasserfilter.
sser. 18 Kesselsteinverhütung.

CHEMISC

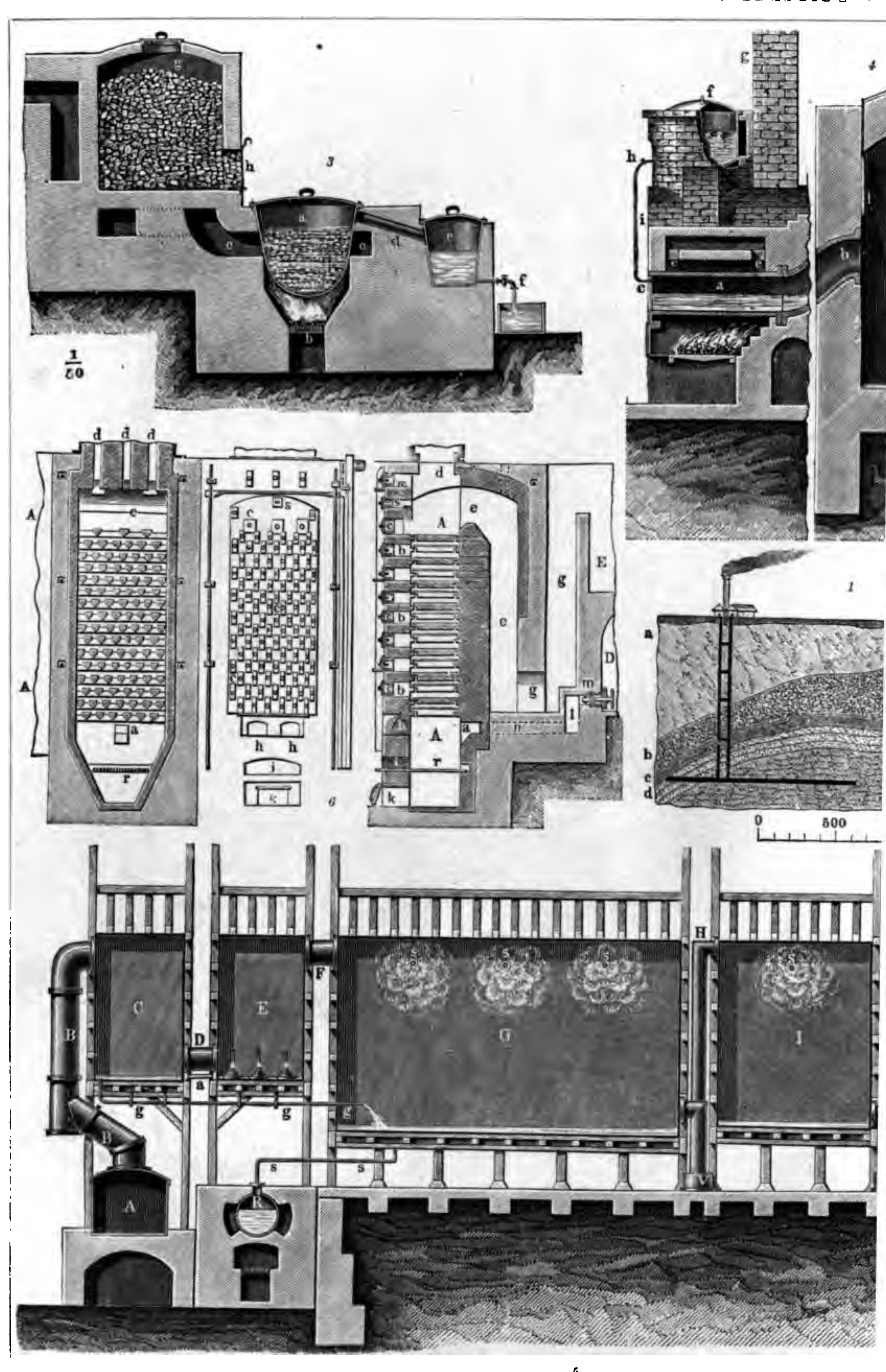


Gasbereitung: 1 *Destillationsapparat.* 2 *Retortenofen.* 3 *Vorlage.* 4 *Exhauster.* 5 *Regulator.* 6-8 *Gasuhr.*

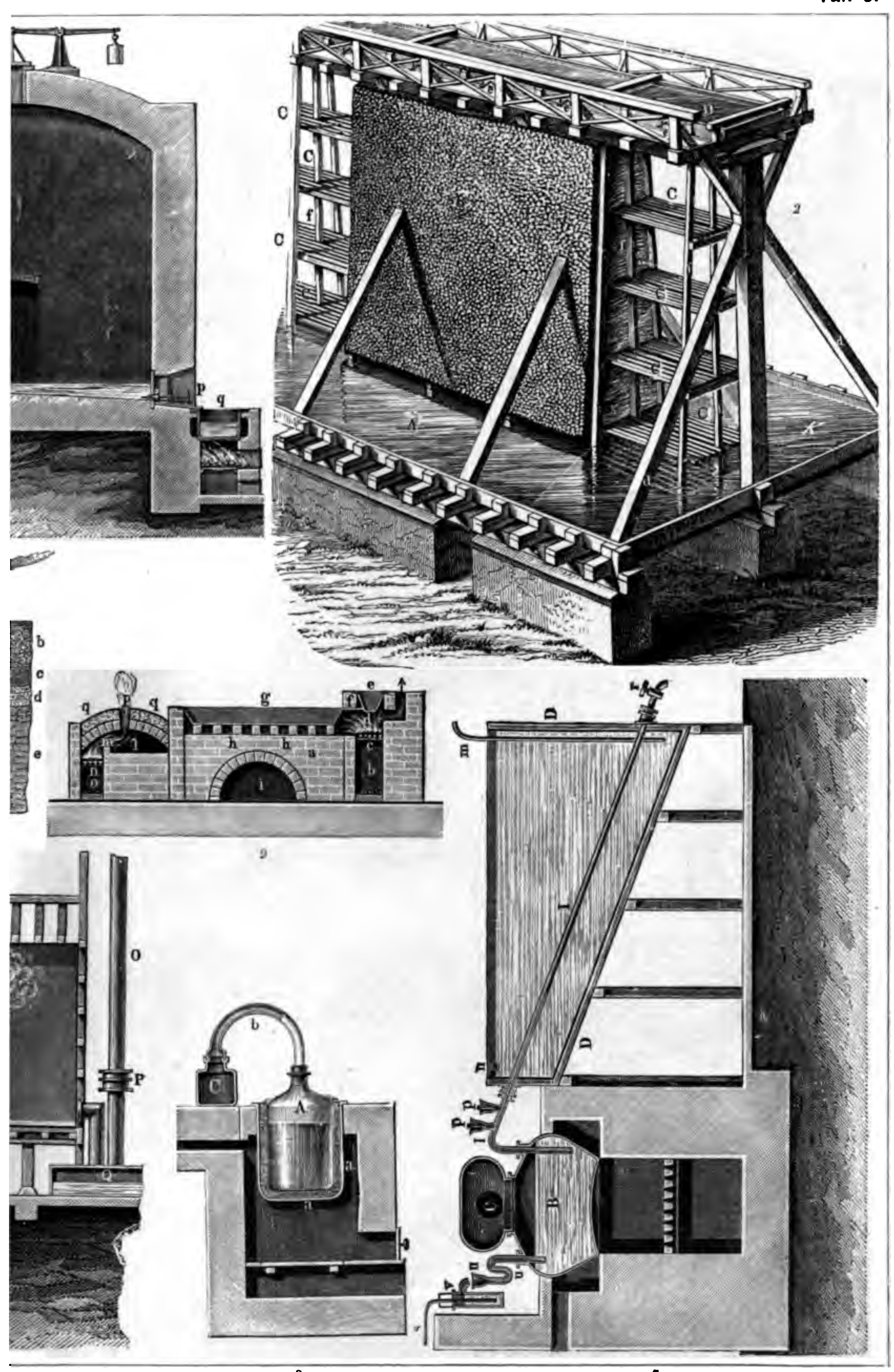


egistrirendes Zifferblatt. 10 u. 11 Zweilochbrenner. 12 Schnittbrenner. 13 u. 14 Argandbrenner. 15 Totalansicht.

ı F. A. Brockhaus in Leipzig.

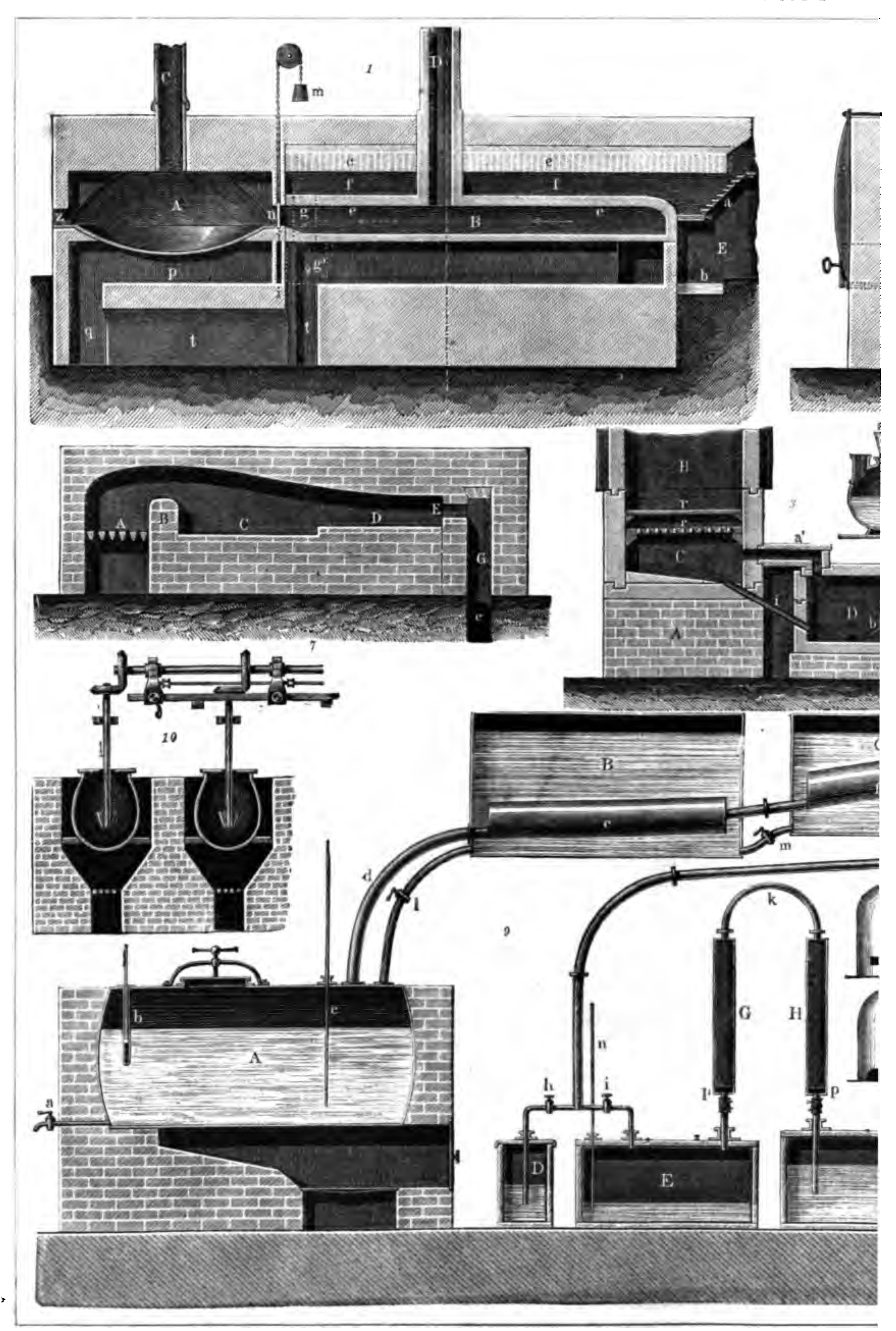


^{1} *Salzlager.* ^{2} *Gradirwerk.* ^{3} *Schwefelgewinnungsofen.* ^{4} *Schwefelreinigungsofen.* ^{5} *Schwefel*



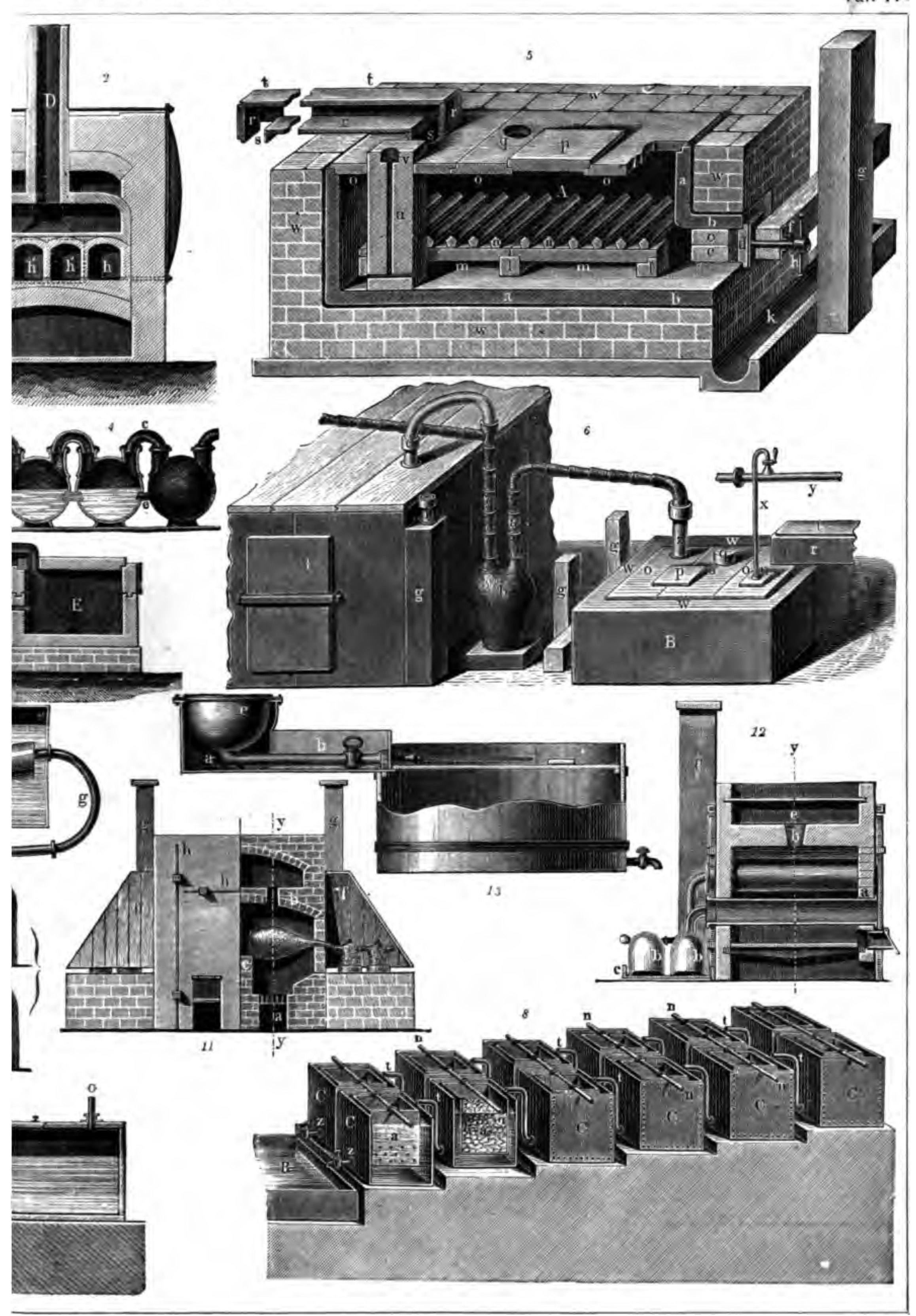
8 7

6 *Schwefelkiesofen.* 7 *Platinapparat.* 8 *Concentration der Schwefelsäure.* 9 *Pottaschengewinnung.*



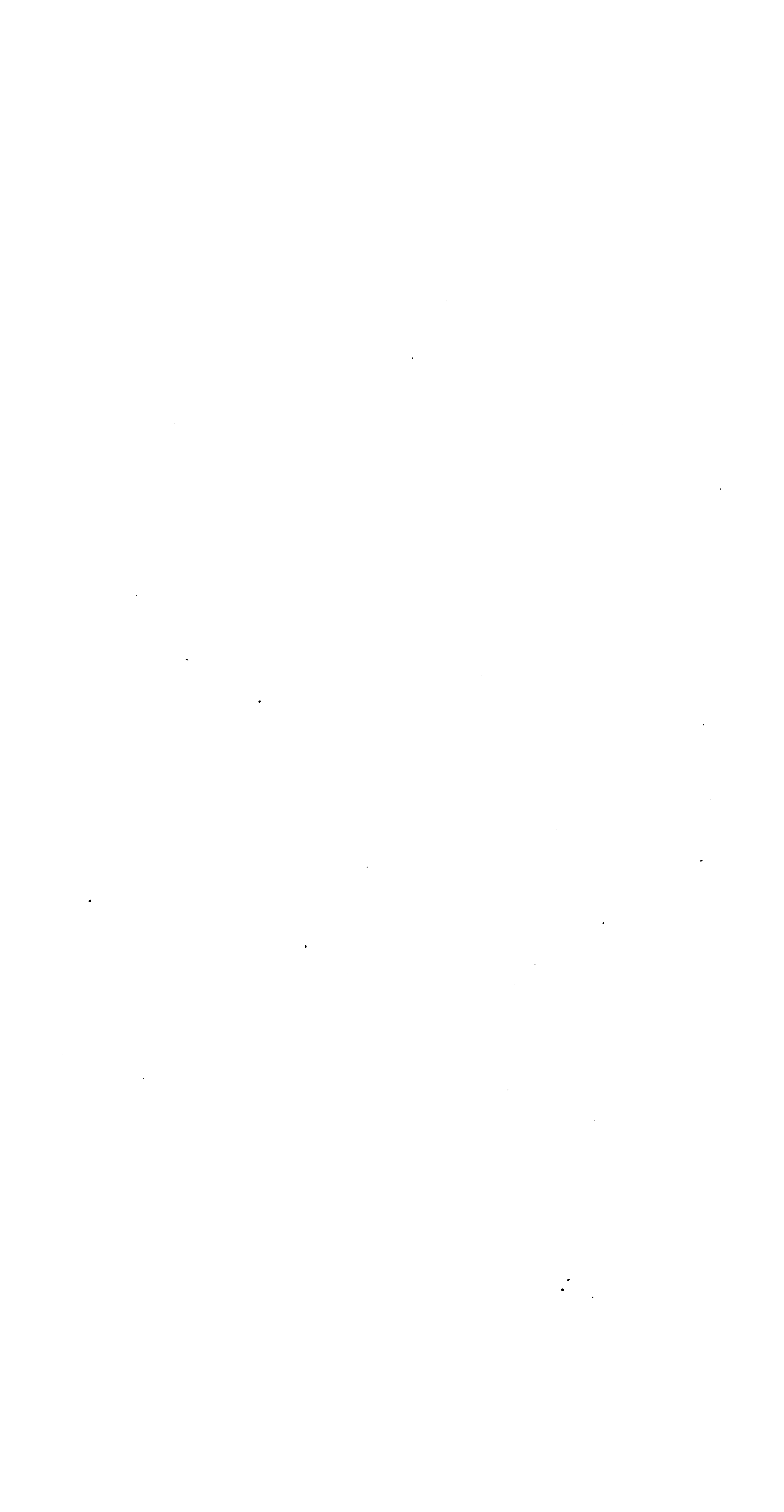
1 u. 2 *Sulfatofen.* 3 u. 4 *Salzsäure-Condensation.* 5 *Chlorentwickelung.* 6 *Chlorkalkfabrikation.* 7 *Sodaofen.* 8 S

Druck und Verlag

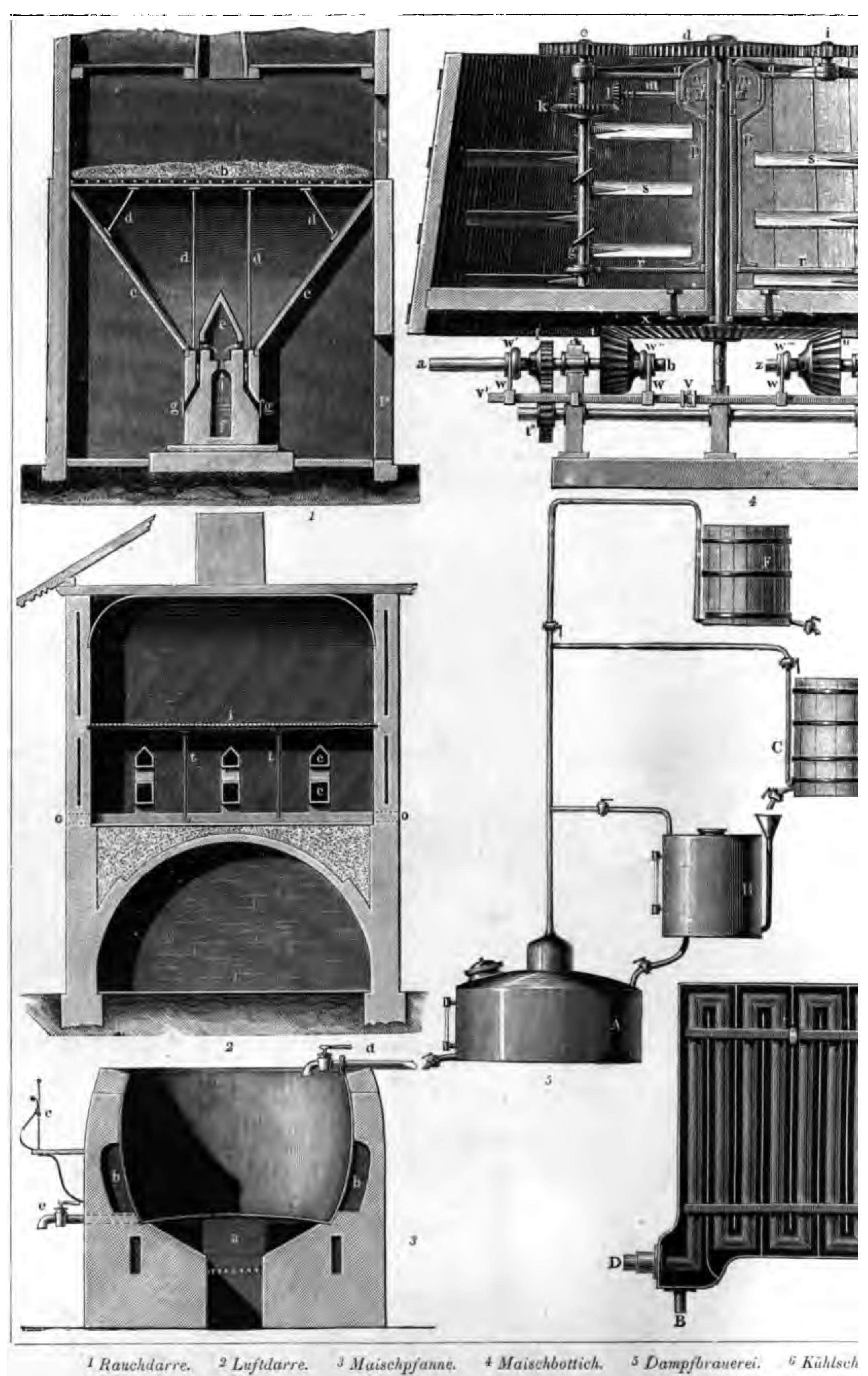


laugung. 9 Ammoniakgewinnung. 10 Blutlaugensalz-Fabrikation. 11 u. 12 Phosphordestillation. 13 Phosphorformung.

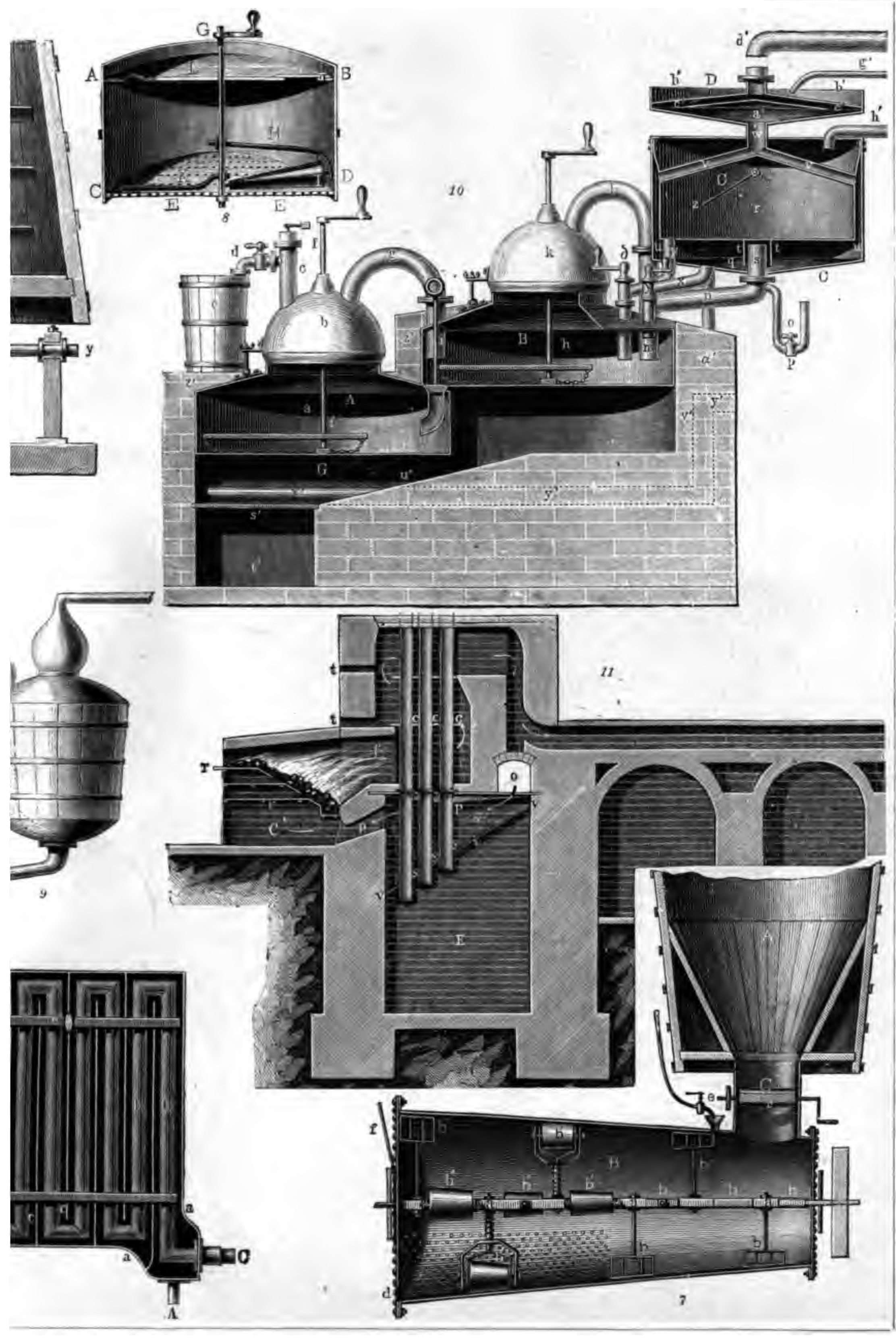
A. Brockhaus in Leipzig.



CHEMIS

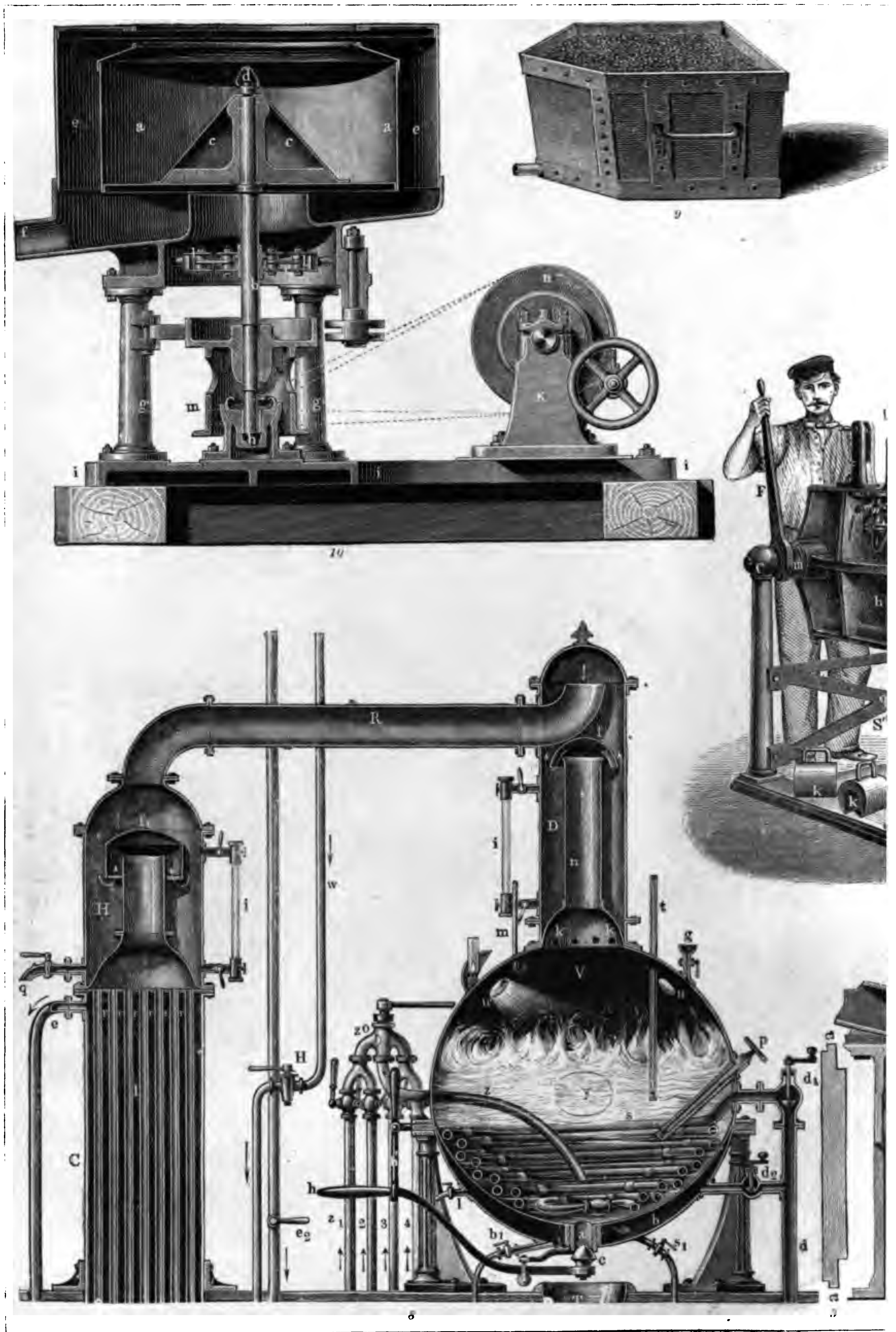


[1] Rauchdarre. [2] Luftdarre. [3] Maischpfanne. [4] Maischbottich. [5] Dampfbrauerei. [6] Kühlsch
[11] Knocher



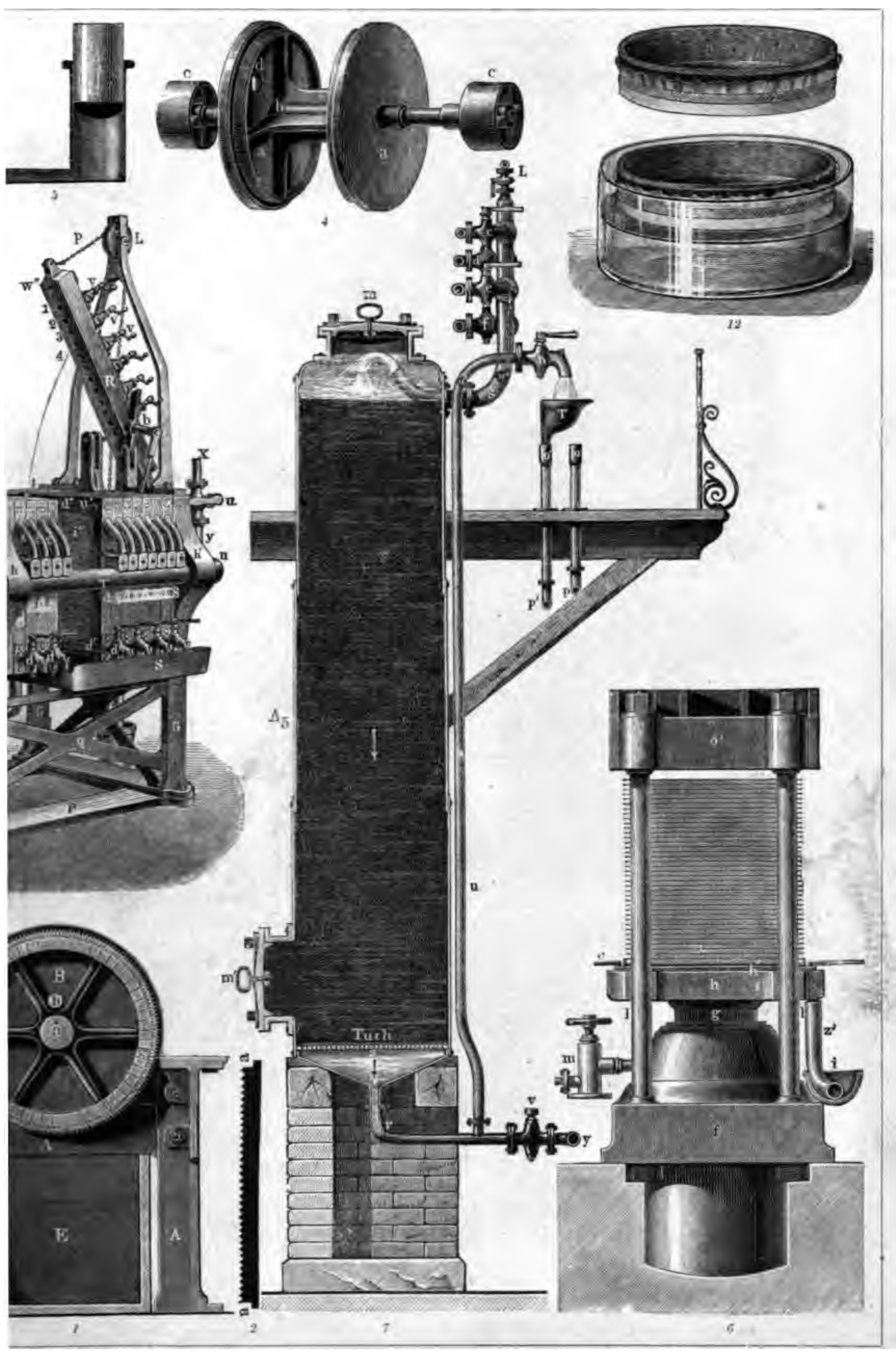
ffelreibapparat. *[8] Siemens'scher Branntweinapparat.* *[9] Dampfdestillirblase.* *[10] Spiritusbrennapparat.*
erbelebungsofen.





1 Zuckerreibe. 2 Reibesägenblatt. 3 Zwischenlage. 4 Reibescheiben. 5 u. 6 Hydraulische Presse. 7

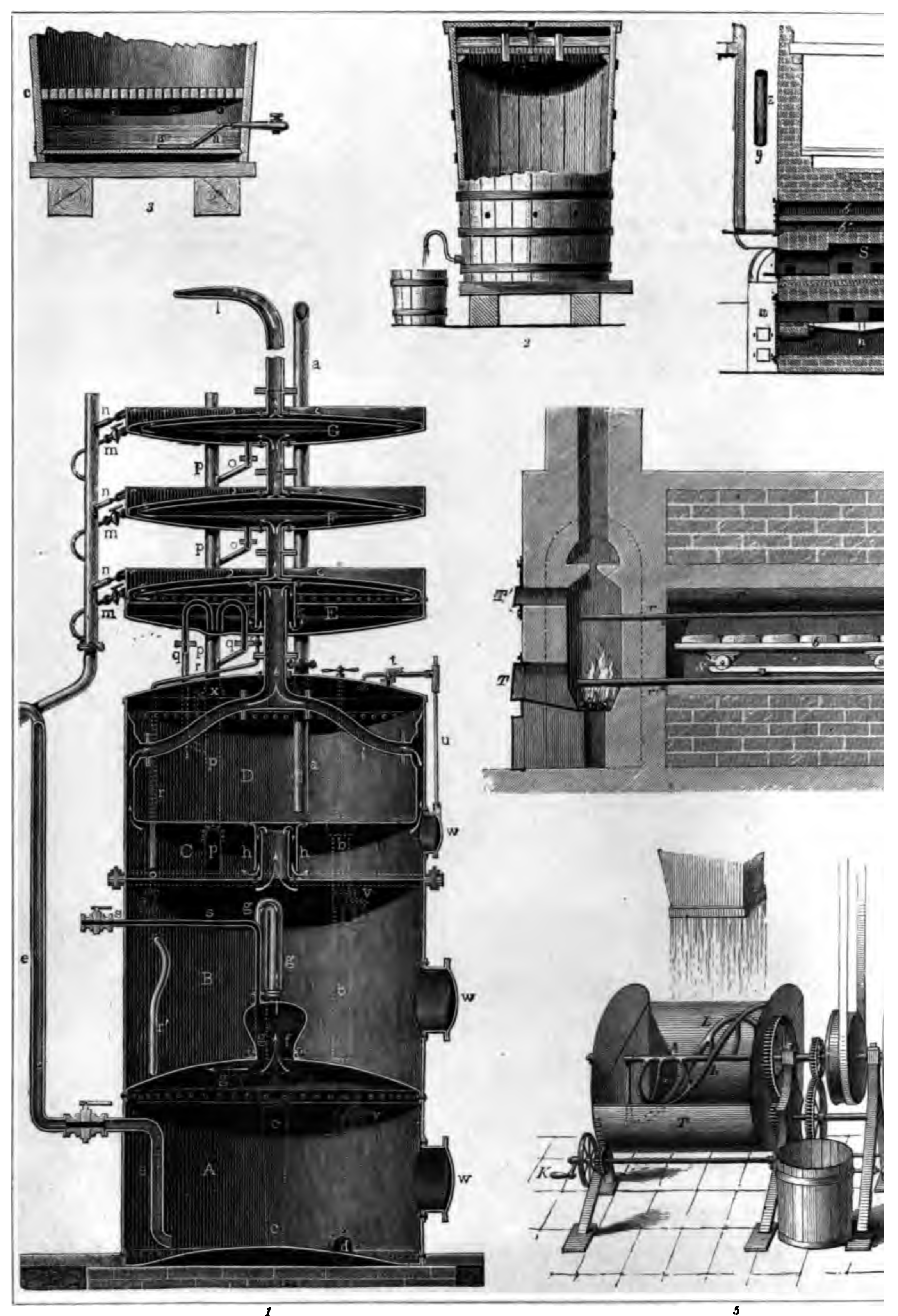
Druck und Verlag v



8 Vacuumapparat. 9 Krystallisationskasten. 10 Centrifuge. 11 Schlammpresse. 12 Dialysator.

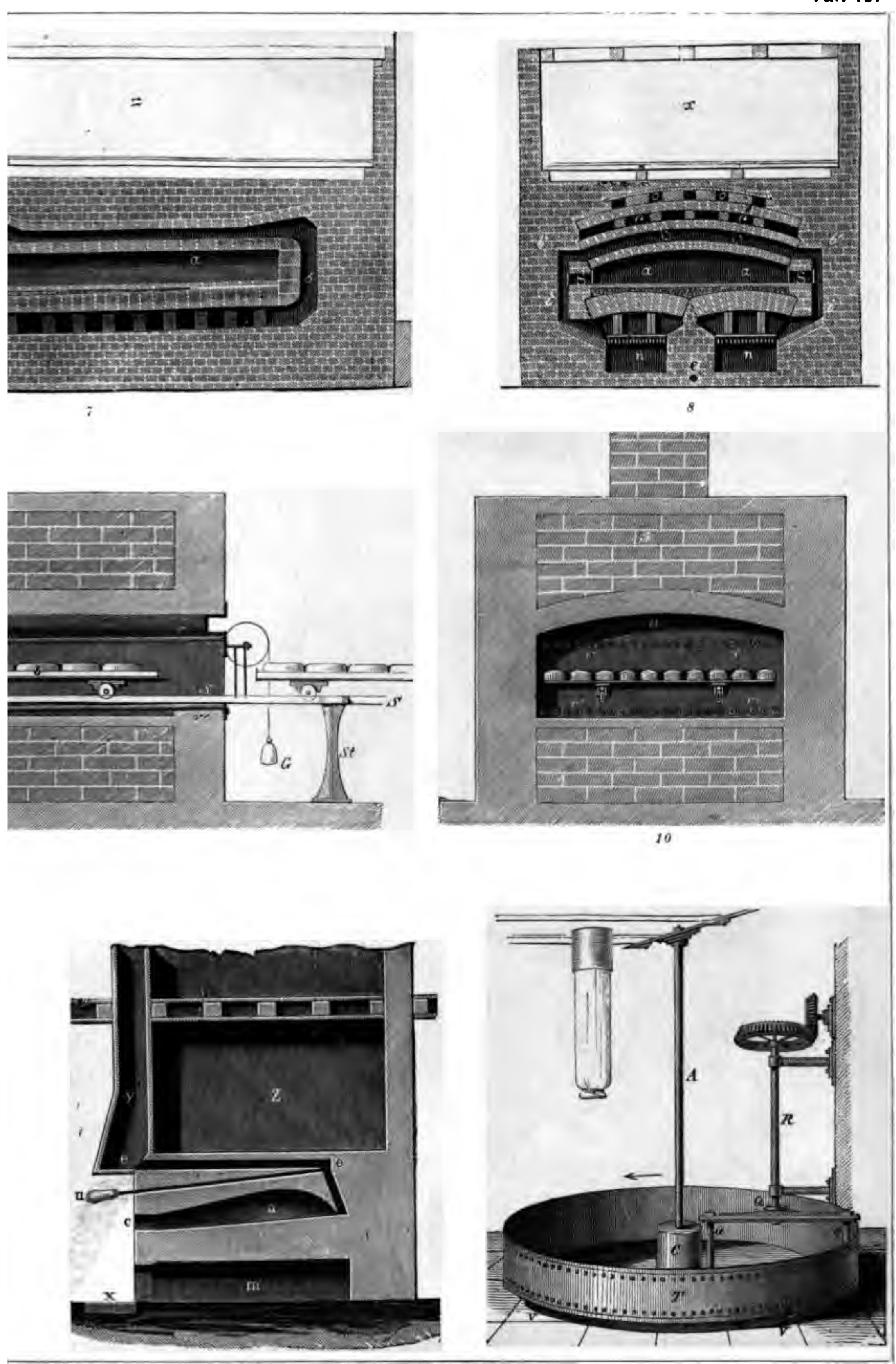
…ckhaus in Leipzig.



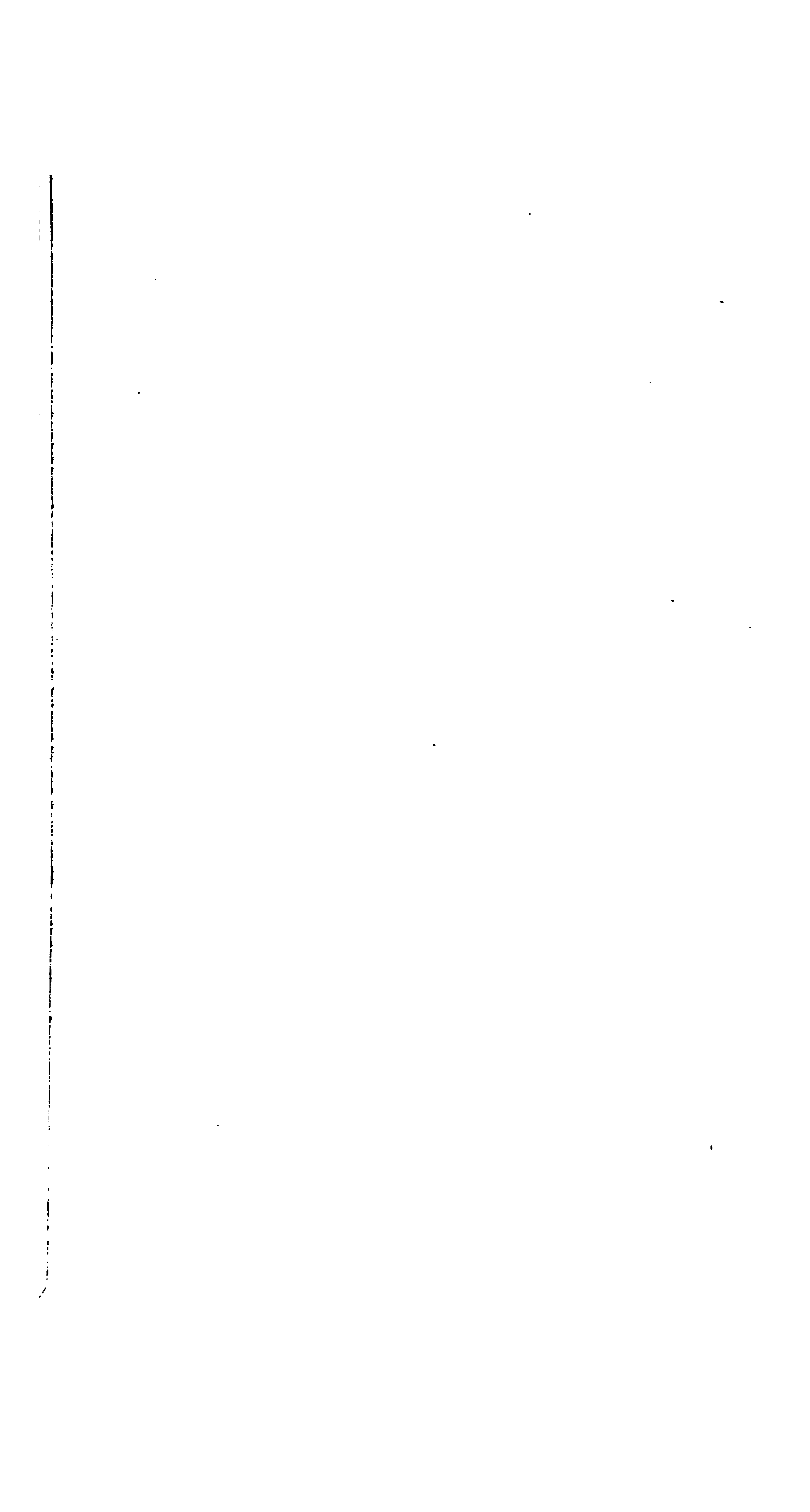


1 *Säulenapparat von Pistorius zur Spiritusfabrikation.* 2 u. 3 *Schnellessigfabrikation.*

Druck und Verlag von



Knetmaschinen. 6-8 Backöfen. 9 u. 10 Backofen mit Hochdruck-Wasserheizung.



Atlas der Physik.

Nebst

einem Abriß dieser Wissenschaft.

Von

Dr. Johann Müller,

großherzoglich badischem Hofrath, Professor der Physik an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

10 Tafeln (mit 455 Figuren) und Text.

Separat-Ausgabe aus der zweiten Auflage des Bilder-Atlas.



Leipzig:

F. A. Brockhaus.

1871.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	3
A. Mechanik. (Tafel 1 und 2.)	
I. Statik fester Körper	4
II. Hydrostatik	7
III. Aerostatik	8
IV. Dynamik	9
B. Akustik (Tafel 3)	12
C. Optik. (Tafel 4, Tafel 5 und Figur 1 — 10 auf Tafel 6.)	
I. Fortpflanzung des Lichts und Photometrie	16
II. Reflexion des Lichts (Katoptrik)	16
III. Brechung des Lichts (Dioptrik)	18
IV. Farbenlehre	20
V. Die Photographie	22
VI. Das Auge und die optischen Instrumente	23
VII Interferenz der Lichtstrahlen	24
VIII. Polarisation und doppelte Brechung	25
IX. Chromatische Polarisation	26

	Seite
D. Wärmelehre. (Tafel 6, Figur 11 — 59; Tafel 7, Figur 1—32.)	
I. Ausdehnung	27
II. Schmelzen und Erstarren	28
III. Dampfbildung	28
IV. Specifische Wärme	31
V. Wärmestrahlung	31
VI. Wärmeleitung	32
VII. Wärmeerzeugung durch mechanische Mittel	33
E. Magnetismus (Tafel 8)	34
F. Elektricität. (Tafel 9, Tafel 10 und Figur 33 — 45 auf Tafel 7.)	
I. Reibungselektricität	38
II. Galvanismus	42
III. Wirkungen des Stroms auf die durchströmten Leiter	43
IV. Elektromagnetismus und Elektrodynamik	44
V Thermo-elektrische Ströme	46
VI. Inductionsströme	46
VII. Diamagnetismus	48

Einleitung.

Die Physik ist derjenige Theil der Naturlehre, welcher es mit den Gesetzen solcher Erscheinungen der leblosen Natur zu thun hat, die nicht auf einer Veränderung der Bestandtheile der Körper beruhen; denn damit beschäftigt sich die Chemie. Es liegt übrigens in der Natur der Sache, daß sich die Grenze zwischen beiden Disciplinen nicht immer scharf ziehen läßt und daß manche Erscheinung in beide Gebiete hineingreift.

Die Physik zerfällt in folgende Hauptabtheilungen:
1) Die Mechanik oder die Lehre vom Gleichgewicht und der Bewegung (Statik und Dynamik);
2) die Akustik oder die Lehre vom Schall;
3) die Optik oder die Lehre vom Licht;
4) die Lehre von der Wärme;
5) die Lehre vom Magnetismus;
6) die Lehre von der Elektricität.

Bei dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaften fallen eigentlich die beiden letzten Abtheilungen in eine einzige zusammen.

Die physikalischen Kenntnisse der Alten waren noch sehr gering. Alles was sie von den Gesetzen des Gleichgewichts fester Körper wußten, beschränkt sich auf die Lehre vom Hebel und vom Schwerpunkt, welche Archimedes bereits entwickelt hatte. Auch die Hydrostatik verdankt diesem genialen Mathematiker ihre Begründung, da er bereits das Gesetz vom Gewichtsverlust der in Flüssigkeiten untergetauchten festen Körper bewiesen hatte. Die Aërostatik oder die Lehre vom Gleichgewicht der Gase ist neuern Datums und als ihre Begründer müssen Torricelli, der Erfinder des Barometers, und Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, genannt werden.

Durch die Entdeckung des alle Bewegungserscheinungen beherrschenden Gesetzes der Trägheit ist Galiläi der Gründer der neuern Mechanik geworden.

Ueber die Entstehung und Verbreitung des Schalles hatten die alten Griechen nur sehr mangelhafte Vorstellungen; erst Newton gab eine richtige Definition der Schallwellen und ihrer Verbreitung. Den Unterschied der Tonhöhe hatten die alten Griechen zwar musikalisch richtig erkannt, sie waren aber noch nicht im Stande, ihn physikalisch zu definiren. Allerdings hatte Pythagoras die musikalischen Intervalle durch Zahlen ausgedrückt, welche er durch Versuche mit gespannten Saiten ermittelt hatte; die physikalische Bedeutung dieser Zahlen ist aber erst im 17. Jahrhundert durch Mersenne nachgewiesen worden, welcher zeigte, daß die Tonhöhe durch die Schwingungsdauer des tönenden Körpers bedingt ist.

Nachdem nun so der Grund der Tonlehre gelegt war, wurden der Reihe nach die Gesetze der Vibrationen tönender Luftsäulen, tönender Saiten, Stäbe und Platten erforscht und endlich die Akustik dadurch zu einem gewissen Abschluß gebracht, daß namentlich durch die Untersuchungen von Helmholtz in dem Mitklingen von Obertönen, welche den Grundton in verschiedener Anzahl und Stärke begleiten, der Grund der Klangfarbe verschiedener musikalischer Instrumente nachgewiesen wurde.

Die optischen Kenntnisse der Alten beschränkten sich auf die Wahrnehmung der geradlinigen Fortpflanzung der Lichtstrahlen und das Reflexionsgesetz. Von der Brechung der Lichtstrahlen bei dem Uebergange aus einem Medium in ein anderes hatten sie zwar Kenntniß, wie denn z. B. Seneca die Erscheinung kennt, daß ein in Wasser eingetauchtes Ruder gebrochen erscheint, ohne jedoch eine richtige Vorstellung von dem Vorgange zu haben. Erst Alhazen, ein um das Jahr 1100 lebender arabischer Mathematiker, erkannte, daß ein Lichtstrahl beim Uebergange aus Luft in ein dichteres Mittel dem Einfallslothe genähert wird. Das Refractionsgesetz selbst wurde erst um das Jahr 1621 von Snellius entdeckt und von Cartesius publicirt.

Die Farben des Regenbogens erklärt Aristoteles aus dem durch ein dunkles Medium gesehenen Lichte der Sonne, und diese Anschauung blieb das ganze Mittelalter hindurch die herrschende. Cartesius erkannte, daß durch ein Prisma eine ähnliche Reihe von Farben entstehe, wie man sie beim Regenbogen beobachtet; aber erst Newton stellte die noch heute von allen Physikern als richtig angenommene Lehre auf, daß das weiße Licht aus verschiedenfarbigen, ungleich brechbaren Strahlen besteht.

Lange Zeit standen sich zwei Hypothesen über das Wesen des Lichts einander gegenüber, die Emanationstheorie, nach welcher das Licht eine Materie eigener Art ist, welche von den leuchtenden Körpern nach allen Seiten hin ausgesendet wird, und die Undulations- oder Vibrationstheorie, welche die Fortpflanzung des Lichts einer Wellenbewegung des Aethers zuschreibt. Newton suchte in seiner Optik die Gesetze der Lichterscheinungen auf die Emanationstheorie zurückzuführen, während sein Zeitgenosse Huyghens zuerst der Vibrationstheorie eine wissenschaftliche Begründung gab. Lange Zeit waren die Ansichten der Physiker zwischen diesen beiden Hypothesen getheilt und selbst Euler's Bemühungen für die Vibrationstheorie waren nicht im Stande, derselben einen entschiedenen Sieg zu verschaffen. Dies gelang erst den Bestrebungen Young's und Fresnel's im ersten Viertel unsers Jahrhunderts, nachdem die im Jahre 1811 durch Malus gemachte Entdeckung der Polarisation des Lichts zur Bestimmung der Richtung geführt hatte, in welcher die einen Lichtstrahl fortpflanzenden Vibrationen des Aethers stattfinden.

Die Entdeckung der Fraunhofer'schen Linien im Jahre 1815 kam zunächst nur der Verbesserung achromatischer Fernrohre zugute; durch die von Bunsen und Kirchhoff ausgebildete Spectralanalyse führten sie aber zur nähern Kenntniß der physischen Beschaffenheit der Sonne und der Fixsterne.

Der Gebrauch der Sammellinsen als Vergrößerungsgläser war den Alten bekannt, denn man hat solche in Pompeji gefunden. Das erste zusammengesetzte Mikroskop wurde 1625 von Fontana construirt. Die Entdeckung des ersten (holländischen) Fernrohrs wurde zufällig durch einen Brillenmacher in Middel-

burg ums Jahr 1608 gemacht. Galilei construirte solche Fernrohre im Jahre 1609 und entdeckte mit ihrer Hülfe die Berge des Mondes, die Trabanten des Jupiter und die Phasen der Venus. Die Construction des astronomischen Fernrohrs wurde 1620 von Kepler angegeben.

Eine Erforschung der Gesetze der Wärmelehre wurde erst möglich, nachdem das Thermometer bekannt geworden war, als dessen Erfinder gewöhnlich Cornelius Drebbel (1630) genannt wird. Das von diesem benutzte Thermometer war ein Luftthermometer, wie solche vor ihm schon Galilei construirt und italienische Aerzte sie angewandt hatten. Die Flüssigkeitsthermometer (Weingeist oder Quecksilber) wurden zuerst in den Schriften der Accademia del cimento in Florenz ohne Nennung des Erfinders beschrieben.

Die ersten genauern Versuche über die Ausdehnung fester, flüssiger und luftförmiger Körper wurden gegen Ende des vorigen Jahrhunderts angestellt.

Daß beim Schmelzen der Körper Wärme gebunden wird, haben nahezu gleichzeitig in der Mitte des 18. Jahrhunderts Deluc zu Genf und Black zu Edinburg entdeckt. Eine richtige Erkenntniß von dem Wesen der Dampfbildung wurde erst durch Dalton zu Anfang des gegenwärtigen Jahrhunderts begründet, obgleich man die Spannkraft der Dämpfe schon vorher technisch zu verwenden wußte.

Die ersten eingehendern Versuche über Wärmestrahlung hatte Leslie angestellt, aber erst Melloni's Bemühungen gelang es, die vollständige Identität zwischen Licht- und Wärmestrahlen nachzuweisen, wodurch dann auch die Ansicht, daß die Wärme überhaupt einer lebhaften Oscillationsbewegung der kleinsten Körpertheilchen (mechanische Wärmetheorie) zuzuschreiben sei, eine wesentliche Unterstützung fand. Diese Ansicht, welche Rumford zu Ende des vorigen und Davy zu Anfang dieses Jahrhunderts mit Entschiedenheit vertreten hatten, wurde mit Erfolg wieder aufgenommen, nachdem Mayer im Jahre 1842 den Begriff des mechanischen Aequivalents der Wärme festgestellt, und Joule sowol wie Hirn dasselbe experimentell bestimmt hatten, und führte zu einem unzweifelhaften Sieg der mechanischen Wärmetheorie, um deren Ausbildung sich namentlich Clausius die größten Verdienste erworben hat.

Von den Eigenschaften des Magneteisens kannten die Alten nur die Kraft desselben, Eisen anzuziehen. Die Chinesen sollen schon die richtende Kraft des Erdmagnetismus gekannt haben. Wann dieselbe in Europa bekannt wurde und wann der Kompaß in Gebrauch kam, läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln. Im 15. Jahrhundert war die Abweichung der Magnetnadel von der reinen Nordrichtung noch unbekannt, und Columbus kam auf seiner ersten Entdeckungsreise 1492 in Verlegenheit, als er die Veränderung dieser Abweichung beobachtete. Die Inclination der Magnetnadel wurde 1576 von Normann entdeckt. Die Gesetze der magnetischen Polarität wurden zuerst von Gilbert im Jahre 1600 entwickelt.

Von der Elektricität war den Alten gleichfalls nur das Vermögen geriebener Harze, leichte Körper anzuziehen, bekannt. Guericke, der erste, welcher elektrische Funken wahrnahm, beobachtete auch zuerst die elektrische Abstoßung. Grey entdeckte 1729 den Unterschied zwischen Leitern der Elektricität und Isolatoren; Dufay constatirte 1733 den Unterschied zwischen positiver und negativer Elektricität. Die Wirkungen der Leydener Flasche wurden fast gleichzeitig von Kleist in Pommern und von Cunäus in Leyden entdeckt.

Franklin gelang es 1752 mittels eines Drachens die Elektricität der Gewitterwolken nachzuweisen: eine Entdeckung, die ihn alsbald zur Erfindung der Blitzableiter führte.

Um das Jahr 1790 war die Elektricitätslehre fast stationär geworden, als sie durch die Entdeckung Galvani's einen neuen Aufschwung erhielt, indem dieselbe alsbald zur Auffindung einer neuen Elektricitätsquelle und zur Construction der Volta'schen Säule führte. Hatte man bis dahin nur die elektrischen Spannungserscheinungen studirt, so lernte man nun auch die elektrischen Stromeswirkungen kennen; und zwar fällt die Entdeckung der chemischen Wirkungen des Stroms durch Nicholson und Carlisle in das Jahr 1801. Im Jahre 1820 entdeckte dann Oersted die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom, woran sich alsbald der Elektromagnetismus mit seinen so wichtigen wissenschaftlichen und praktischen Ergebnissen anschloß.

Die thermoelektrischen Ströme wurden 1821 von Seebeck entdeckt.

Im Jahre 1831 entdeckte Faraday die Induction elektrischer Ströme durch Magnetismus, 1838 die Induction derselben durch elektrische Ströme und 1845 endlich entdeckte er den Diamagnetismus.

A. Mechanik.

(Tafel 1 und 2.)

I. Statik fester Körper.

In der Naturlehre unterscheidet man zweierlei Arten von Kräften, 1) solche, welche in die Ferne wirken, wie die Schwere, die elektrische und magnetische Anziehung und Abstoßung u. s. w., und 2) solche, welche nur in nächster Nähe auf die benachbarten Atome wirken und welche den Zusammenhang der Körpertheilchen, Cohäsion, Adhäsion, chemische Verwandtschaft u. s. w. bedingen.

Wenn eine Kraft der ersten Art, die wir als bewegende oder beschleunigende Kräfte bezeichnen wollen, auf einen Körper wirkt, so übt sie ein Bestreben aus, denselben in Bewegung zu setzen. Wenn mehrere Kräfte auf einen Körper einwirkend sich gegenseitig aufheben, so sind sie im Gleichgewicht.

Zwei Kräfte sind im Gleichgewicht, wenn sie einen Körper gleich stark nach entgegengesetzter Richtung zu bewegen streben.

Wenn zwei Kräfte nach verschiedenen Richtungen auf einen Körper wirken, so theilen sie ihm eine Bewegung mit, welche in folgender Weise bestimmt ist: auf einen materiellen Punkt in a, Fig. 1, wirken zwei Kräfte, deren eine in der Richtung a x ihn in der Zeiteinheit von a nach b führen würde, während er unter dem alleinigen Einfluß der zweiten, in der Richtung a y wirkenden Kraft in der Zeiteinheit von a nach c geführt werden würde, so beschreibt er unter dem gleichzeitigen Einfluß beider Kräfte in der Zeiteinheit den Weg ad, welcher die Diagonale des Parallelogramms a b d c ist.

Die beiden Seitenkräfte, welche für sich allein den Körper in der Zeiteinheit von a nach b und von a nach c zu führen streben, wirken also zusammen ebenso wie eine einzige Kraft, die Resultirende, welche den Körper in der gleichen Zeit von a nach d führen würde.

Wenn z. B. der Wind für sich allein ein Schiff in $^1/_4$ Stunde quer über den Fluß von A Fig. 2 nach B treiben würde, während die Strömung des Flusses allein es in der gleichen Zeit von A nach C treibt, so wird das Schiff unter der gleichzeitigen Wirkung beider Kräfte in $^1/_4$ Stunde durch die Diagonale AD des Parallelogramms ACDB geführt.

Zwei Kräften, welche in verschiedener Richtung auf einen materiellen Punkt einwirken, kann man dadurch das Gleichgewicht halten, daß man an demselben Punkt noch eine dritte Kraft anbringt, welche der Resultirenden der beiden andern gleich und entgegengesetzt ist.

Zur experimentellen Prüfung des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte dient der Apparat Fig. 3.

Auf die Lehre vom Parallelogramm der Kräfte lassen sich nun die Gesetze des Gleichgewichts an allen sogenannten mechanischen Potenzen, Hebel, schiefe Ebene, Schraube, Flaschenzug u. s. w. ableiten. Ohne auf diese Ableitung weiter einzugehen, wollen wir die wichtigsten dieser Gesetze kurz betrachten.

Eine gerade unbiegsame Linie, welche um einen festen Punkt drehbar ist, wird ein Hebel genannt. Wenn eine Kraft in irgendeinem Punkte des Hebels rechtwinkelig zu seiner Richtung angreift, so wird der Abstand des Angriffspunkts vom festen Drehpunkt (Hypomochlion) der Hebelarm der Kraft genannt. Zwei Kräfte, welche den Hebel nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben, halten sich das Gleichgewicht, wenn sie den entsprechenden Hebelarmen umgekehrt proportional sind.

Bezeichnet man als statisches Moment einer Kraft das Product, welches man erhält, wenn man die Kraft mit ihrem Hebelarm multiplicirt, so läßt sich das eben ausgesprochene Gesetz auch so ausdrücken: Zwei Kräfte welche den Hebel nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben, halten sich das Gleichgewicht, wenn ihre statischen Momente gleich sind.

Fig. 4 stellt z. B. einen Hebel dar, dessen Drehpunkt in m ist und an welchem die beiden Gewichte 10 und 6 nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben. Die Kraft 10 greift an den Hebelarm 3 an, ihr statisches Moment ist also 30. Ebenso groß ist das statische Moment der am Hebelarm 5 angreifenden Kraft 6; also halten sich beide Kräfte das Gleichgewicht.

Wenn auf jeder Seite des Drehpunkts mehrere Kräfte angreifen, so halten sie sich das Gleichgewicht, wenn die Summe der statischen Momente auf beiden Seiten gleich ist. So ist z. B. für den in Fig. 5 dargestellten Fall die Summe der statischen Momente auf der linken Seite $3 \cdot 4 + 10 \cdot 3 = 42$, auf der rechten Seite aber $5 \cdot 2 + 2 \cdot 4 + 4 \cdot 6 = 42$; also auch hier sind die Bedingungen des Gleichgewichts erfüllt.

Wenn der Drehpunkt m zwischen den Angriffspunkten der beiden Kräfte liegt, so hat man mit einem zweiarmigen Hebel zu thun. Die Schnellwage, Fig. 6, ist ein Beispiel des zweiarmigen Hebels.

Der Drehpunkt eines zweiarmigen Hebels hat (das Gewicht der Hebelstange abgerechnet) einen Druck auszuhalten, welcher gleich ist der Summe der rechtwinkelig angreifenden Kräfte. In den durch Fig. 4 und Fig. 5 dargestellten Fällen ist also der Druck auf den Drehpunkt m gleich 16 und 24. Es läßt sich dies experimentell durch die Anordnung Fig. 7 nachweisen; das Gewicht des Hebels abgerechnet ist $N = P + R$.

Denken wir uns den Punkt a in der Weise befestigt, daß er den Drehpunkt des Hebels ab bildet, so haben wir jetzt einen einarmigen Hebel, den die Kräfte R und N nach entgegengesetzten Seiten zu drehen streben. Es findet Gleichgewicht statt, wenn sich R zu N verhält, wie die Länge am zu ab. Beispiele der Anwendung des einarmigen Hebels sind in Fig. 8, 9 und 10 dargestellt.

Wenn in der Vorrichtung Fig. 7 die beiden Punkte a und b festgestellt werden, so haben sie zusammen einen nach oben gerichteten Druck auszuhalten, welcher gleich N ist, und zwar ist der Druck, den a auszuhalten hat, gleich P, der Druck, den b auszuhalten hat, ist R.

Wenn zwei Träger mittels einer Bahre, Fig. 11, eine Last tragen, so vertheilt sie sich nur dann gleich auf beide Träger, wenn sie in der Mitte liegt. Je mehr sie dem einen Träger zugeschoben wird, desto größer wird der Antheil der Last, welchen er zu tragen hat.

Wenn an einem Hebel amb, Fig. 12, zwei Kräfte ac und bd (die Längen ac und bd sind den in a und b eingreifenden Kräften proportional aufgetragen) nicht rechtwinkelig, sondern schief angreifen, so wirken sie gerade so, als ob sie rechtwinkelig an den Hebelarmen mo und mn angriffen, welche man erhält, wenn man von dem Drehpunkt m ein Perpendikel auf die verlängerten Richtungen der beiden Kräfte fällt. Das statische Moment der einen Kraft ist also ac.mo, das der andern ist bd.mn und Gleichgewicht findet statt, wenn $ac.mo = bd.mn$.

Die Hebelgesetze finden überall eine Anwendung, wo es sich um die Umdrehung irgendeines festen Körpers um eine Axe handelt, wie z. B. bei der Hebung von Lasten mittels des Haspels, Fig. 13, bei welchem sich die am Ende des Kurbelarms angreifende Kraft des Arbeiters zu der am Wellbaum hängenden Last verhält, wie der Halbmesser des Wellbaums zum Kurbelarm.

Auf die Lehre vom Hebel läßt sich die Lehre vom Schwerpunkt zurückführen. Jeder feste Körper ist als ein Complex einer kleinern oder größern Anzahl von Moleculen zu betrachten, welche in unveränderter gegenseitiger Stellung verharren und deren jedes von der Schwerkraft afficirt ist. Die Richtung, mit welcher die Schwere die einzelnen Molecule des festen Körpers antreibt, ist für alle dieselbe, es ist die Richtung des Bleiloths; wir müssen also jeden schweren Körper betrachten, als sei er durch eine Reihe unter sich paralleler Kräfte angegriffen. Die Resultirende, die Summe, aller dieser unter sich parallelen Elementarkräfte ist das Gewicht des Körpers. Der Angriffspunkt dieser Resultirenden aber ist der Schwerpunkt des Körpers.

Ohne das Gleichgewicht zu stören, kann man sich das Gewicht des Körpers in seinem Schwerpunkt vereinigt denken. Ein fester Körper ist im Gleichgewicht, sobald sein Schwerpunkt unterstützt ist.

Wenn ein fester Körper in einem festen Punkte aufgehängt ist, um den er sich übrigens frei drehen kann, so lassen sich drei Fälle des Gleichgewichts unterscheiden:

1) der Unterstützungs- und Drehpunkt des Körpers geht durch seinen Schwerpunkt, Fig. 14. In diesem Falle findet Gleichgewicht statt, welches übrigens die Lage des Körpers sein mag. Er ist im Gleichgewicht, mag er nun die Lage AB oder die Lage CD oder irgendeine andere haben (indifferentes Gleichgewicht);

2) der Schwerpunkt liegt vertical unter dem Aufhängepunkt, Fig. 15. Wird der Körper durch irgendeine äußere Kraft aus dieser Lage herausgebracht, erhält er z. B. eine solche Lage, daß sein Schwerpunkt von s nach s′ versetzt wird, so wirkt nun das Gewicht des Körpers auf s′ in der Art, daß es ihn in seine ursprüngliche Lage zurückzuführen strebt (stabiles, festes Gleichgewicht);

3) der Schwerpunkt liegt vertical über dem Drehpunkt. Hier ist allerdings noch Gleichgewicht möglich, dasselbe wird aber durch die geringste Kraft vollkommen vernichtet, sodaß, nachdem die störende Kraft zu wirken aufgehört hat, eine Rückkehr in die vorherige Gleichgewichtslage nicht stattfindet (labiles oder unsicheres Gleichgewicht).

Ein interessantes Beispiel des stabilen Gleichgewichts bietet Fig. 17. Ein Holzstück B, welches unten mit einer Stahlspitze versehen ist, wird mittels dieser auf

Körper einwirkt, so bewegt er sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in gerader Richtung fort.

2) Wenn auf einen bewegten Körper eine Kraft einwirkt, so ist der Weg, welchen er in einem kleinen Zeittheilchen zurücklegt, die Resultirende derjenigen Bahnen, welche der Körper einerseits vermöge der bereits erlangten Geschwindigkeit, und andererseits unter dem alleinigen Einfluß der beschleunigenden Kraft zurücklegen würde.

Am einfachsten läßt sich dies beim Fallgesetz nachweisen. Ein Körper, der eine Zeit lang gefallen ist, hat dadurch eine gewisse Geschwindigkeit erlangt, vermöge deren er sich auch noch fortbewegen würde, wenn auch die Schwerkraft auf ihn zu wirken aufhörte; in jeder folgenden Secunde summirt sich also die schon erlangte Geschwindigkeit mit der neuen Wirkung der Schwere.

Aus einer mathematischen Discussion der eben angedeuteten Grundsätze ergeben sich nun folgende Gesetze des freien Falls:

1) Die Fallräume sind dem Quadrate der Fallzeiten proportional. Der Fallraum der ersten Secunde beträgt ohngefähr 15 Fuß. Es sind demnach die Fallräume von

1	2	3	4	5	6	Secunden
15	60	135	240	375	540	Fuß.

2) Die Endgeschwindigkeiten sind den Fallzeiten proportional, und zwar ist die Endgeschwindigkeit von

1	2	3	4	5	6	Secunden
30	60	90	120	150	180	Fuß,

d. h. wenn die Schwere z. B. am Ende der vierten Secunde zu wirken aufhörte, so würde der Körper in jeder folgenden Secunde doch noch einen Weg von 120 Fuß zurücklegen.

Wie man sieht, sind für den freien Fall die wenigen Secunden entsprechenden Fallräume viel zu groß, als daß man die Richtigkeit des Gesetzes durch den Versuch bequem constatiren könnte. Zu diesem Zweck muß man dafür sorgen, daß der Fall nach dem gleichen Gesetz viel langsamer vor sich geht, wie dies bei der Fallrinne, Fig. 30, geschieht. Wenn man dem Stück ab der Rinne eine solche Neigung gegen die Horizontale gibt, daß eine Kugel in 1 Secunde den Weg von 1 Decimeter (von 1 bis b) durchläuft, so werden in 2 und 3 Secunden die Wege von 4 und 9 Decimeter (also von 4 und 9 bis b) durchlaufen.

Ist die Kugel in 1 Secunde von 1 bis b herabgerollt, so hat sie nun eine solche Geschwindigkeit erlangt, daß sie auf der horizontalen Rinne bc, also ohne weitere Beschleunigung von b bis 2 läuft. Ist die Kugel in 2 oder in 3 Secunden von 4 oder von 9 bis b herabgerollt, so läuft sie in der folgenden Secunde auf der horizontalen Rinne noch bis 4 oder bis 6.

Noch genauer lassen sich diese Gesetze mit der Atwood'schen Fallmaschine, Taf. 1, Fig. 44, beweisen. Sie besteht im wesentlichen aus einer um eine horizontale Axe leicht drehbaren Rolle, welche auf dem Gipfel einer ohngefähr 6 Fuß hohen verticalen Säule befestigt ist. Ueber die Rolle ist eine Schnur geschlungen, an deren Enden gleiche Gewichte m und n hängen. Legt man auf der einen Seite auf n ein Uebergewicht r auf, so wird n und r fallen und m steigen. Der Fall von n und r geht aber um so langsamer vor sich, je kleiner r im Vergleich zu m+n. Hat man das Uebergewicht r so justirt, daß der Fallraum der ersten Secunde 1 Zoll beträgt, so beträgt der Fallraum von 2, 3, 4 u. s. w. Secunden 4, 9, 16 u. s. w. Zoll.

Fig. 45 zeigt das Gewicht n sammt dem Uebergewicht r, wie es für den eben besprochenen Versuch eingerichtet sein muß. Um aber Versuche über die Endgeschwindigkeit zu machen, welche der fallende Körper in 2, 3, 4 Secunden erlangt, muß man dafür sorgen, daß das Uebergewicht nach 2, 3, 4 Secunden weggenommen wird. Zu diesem Zweck muß das Uebergewicht die Gestalt Fig. 46 haben, sodaß es auf einem in Fig. 44 sichtbaren durchbrochenen Schieber liegen bleibt, während das Gewicht n frei durch die Höhlung dieses Schiebers hindurchgeht.

Stellt in Fig. 30, Taf. 2, a1 den Fallraum der ersten Secunde dar, so ist a2, a3, a4 und a5 der Fallraum von 2, 3, 4 und 5 Secunden.

Beim freien Fall ist die Richtung der Bewegung die gleiche wie die Richtung der beschleunigenden Kraft; wenn dies nicht der Fall ist, so bewirkt die beschleunigende Kraft eine stetige Abweichung von der Bewegungsrichtung, infolge dessen der Körper eine krumme Linie beschreibt, wie dies z. B. bei der Wurfbewegung der Fall ist. Nehmen wir z. B. an, dem Körper in a, Fig. 31, werde in horizontaler Richtung ein Stoß ertheilt, vermöge dessen er sich am Ende der 1., 2., 3., 4., 5. Secunde in den Punkten b, c, d, e, f befinden würde, so wird er durch die Schwerkraft in 1, 2, 3, 4, 5 Secunden um die Längen a1, a2, a3, a4 und a5 von den Punkten b, c, d, e, f herabgezogen sein, kurz der horizontal geworfene Körper beschreibt die Bahn ab'c'd'f', welche eine Parabel sein würde, wenn kein Luftwiderstand stattfände.

Wenn einem Körper, welcher durch eine beschleunigende Kraft stets gegen einen und denselben Anziehungsmittelpunkt angezogen wird, einmal ein seitlicher Impuls von entsprechender Größe mitgetheilt wird, so combinirt sich seine seitliche Geschwindigkeit in der Weise mit der Centralkraft (Centripetalkraft), daß er sich in einer krummen Linie um den Anziehungsmittelpunkt herumbewegt. Von dieser Art ist die Bewegung der Erde und der übrigen Planeten um die Sonne. Wie eine solche Centralbewegung zu Stande kommt, wird durch Fig. 32, Taf. 2, erläutert.

Nehmen wir an, der Körper a werde mit einer solchen Kraft gegen den Anziehungsmittelpunkt m getrieben, daß er in der Zeiteinheit den Weg ac zurücklegen würde, gleichzeitig aber sei er mit einer seitlichen Geschwindigkeit behaftet, vermöge deren er sich in der Zeiteinheit von a nach b bewegen würde, so muß er unter dem gleichzeitigen Einfluß der Centralkraft und der seitlichen Geschwindigkeit in der Zeiteinheit den Weg ad zurücklegen. In d kommt er aber mit solcher Geschwindigkeit an, daß er sich nach dem Gesetze der Trägheit in den folgenden Zeittheilchen von d nach e bewegen würde; durch die neue Einwirkung der Centralkraft wird er aber abermals um df gegen m hingetrieben, er wird also in diesem Zeittheilchen den Weg dg zurücklegen u. s. w. Die gebrochene Linie adg geht aber in Wirklichkeit in eine krumme Linie über, da die Centralkraft nicht stoßweise, sondern stetig wirkt. Die Natur der krummen Linie, welche a um m beschreibt, hängt von dem Verhältniß der Centralkraft zu der seitlichen Geschwindigkeit (Tangentialkraft) ab.

Wenn die Centralkraft in einem bestimmten Moment auf den Körper zu wirken aufhörte, so würde er sich in der Richtung der Tangente seiner bisherigen Bahn, also in gerader Linie fortbewegen; durch die Centralkraft wird er aber beständig aus der tangentialen Richtung heraus gegen den Anziehungsmittelpunkt hingetrieben.

Wenn ein Körper um einen festen Mittelpunkt herumgeschleudert wird, wie z. B. der Stein (Fig. 3, Taf. 2) um die Hand, welche hier den Centralpunkt der Bahn bildet, welche der Stein beschreibt, so strebt er gleich-

falls beständig in tangentialer Richtung fortzufahren, die Schnur aber zieht ihn beständig aus der Richtung der Tangente in die Kreisbahn zurück, die Spannung der Schnur tritt also hier an die Stelle der oben betrachteten Centralkraft.

Die Kraft, mit welcher ein um eine feste Axe herumgeschwungener Körper sich von derselben zu entfernen strebt, in unserm Falle also die Kraft, welche die Schnur spannt, nennt man Schwungkraft, Fliehkraft, Centrifugalkraft. Sie wächst mit der Masse des herumgeschwungenen Körpers, mit dem Radius des beschriebenen Kreises und mit der Geschwindigkeit der Umdrehung.

Um Versuche über die Schwungkraft anzustellen, bedient man sich der Schwungmaschine, Fig. 47, Taf. 1. Durch Umdrehung des größern Rades c wird die Axe a in rasche Rotation versetzt; auf der Axe a aber werden verschiedene Vorrichtungen, Fig. 48 bis 51, aufgesetzt, mit welchen man experimentiren will.

Fig. 48 ist ein bauchiges Glasgefäß, auf dessen Boden etwas Quecksilber und gefärbtes Wasser gegossen wird; wenn es rasch um seine Axe rotirt, so steigen die Flüssigkeiten in die Höhe und bilden einen im Bauch des Gefäßes schwebenden Ring, und zwar wird sich der Quecksilberring am weitesten von der Umdrehungsaxe entfernen. Der Apparat Fig. 49 zeigt zwei Elfenbeinkugeln von ungleichem Durchmesser, welche auf einem horizontal ausgespannten Metalldraht leicht verschiebbar durch Schnüre in bestimmter gegenseitiger Entfernung gehalten werden. Stellt man die Kugeln so, daß sich ihr Abstand von der Umdrehungsaxe umgekehrt verhält wie ihre Massen, so halten sie sich bei rascher Rotation des Apparats das Gleichgewicht, während sie nach der einen oder andern Seite hinfahren, wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist.

Wenn der Apparat Fig. 50 auf die Schwungmaschine aufgesetzt ist, so wird bei einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit die Schwungkraft der Messingkugel d im Stande sein, das im Centrum befindliche Gewicht c zu heben, bei doppelter Umdrehungsgeschwindigkeit wird ein 4 mal so großes bei c aufgelegtes Gewicht gehoben. Ist endlich der Apparat Fig. 51 auf die Schwungmaschine aufgesetzt, so werden sich bei rascher Rotation die elastischen Messingstreifen mehr und mehr krümmen, und dadurch wird die Hülse b, welche dieselben oben zusammenfaßt, mehr und mehr herabgezogen. Dieser Apparat dient dazu, zu zeigen, daß die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist.

Eine Axe, um welche die Masse eines um sie rotirenden Körpers symmetrisch vertheilt ist, wird eine freie Axe genannt. Eine solche freie Axe hat nie einen einseitigen Zug auszuhalten, weil jede Kraft, welche sie nach einer Seite zieht, durch eine vollkommen gleiche nach der entgegengesetzten Seite wirkende äquilibrirt ist. Ein jeder um eine freie Axe rotirender Körper zeigt eine große Stabilität, d. h. ein Bestreben, in der Lage zu verharren, in welcher er sich befindet, und Kräften, die ihn aus dieser Lage zu verdrängen streben, einen Widerstand entgegenzusetzen. Man kann dies schon an jedem Kreisel sehen, welcher rotirend auf einer Spitze steht, ohne umzufallen, was unfehlbar erfolgen muß, wenn er ohne Rotation ist.

Am auffallendsten zeigt sich dies an dem Gyroskop, Fig. 34, Taf. 2. Eine mit einem dicken Wulst umgebene messingene Scheibe a ist um eine Stahlaxe drehbar, welche in Spitzen läuft. Diese Spitzen sind in einem messingenen Ringe befestigt, welcher mit einem Ansatzstück n versehen ist, in dessen unterer Fläche sich eine kleine Vertiefung bei o befindet. Wird die ganze Vorrichtung in der Stellung, wie es die Figur zeigt, mittels dieser Vertiefung auf eine Stahlspitze aufgesetzt, so fällt sie, um o sich drehend, durch ihr Gewicht rasch herab, bis z den Boden berührt, wenn die Scheibe a nicht rotirt. Ist aber die Scheibe in rasche Rotation versetzt, so behält der ganze Apparat, trotz seines bedeutenden Gewichts, seine horizontale Lage bei, sich dabei langsam in horizontaler Ebene um eine verticale Axe drehend.

Ein einfaches Pendel besteht aus einer schweren kleinen Kugel oder einem Doppelkegel, welcher an einem einfachen Faden oder besser an einem Doppelfaden aufgehängt ist, wie Fig. 35, Taf. 2, zeigt. Aus seiner Gleichgewichtslage etwas entfernt und sich dann selbst überlassen, wird die Pendelkugel durch die Schwere in ihre Gleichgewichtslage zurückgeführt. Hier aber kommt sie mit einer solchen Geschwindigkeit an, daß sie auf der andern Seite ebenso hoch aufsteigt, wie sie auf der einen herabfiel. So dauern denn diese Schwingungen eine Zeit lang fort, bis sie nach und nach wegen verschiedener Widerstände kleiner werden und endlich ganz aufhören. Die Gesetze der Pendelschwingungen sind

1) die Schwingungsdauer eines Pendels ist unabhängig von dem Stoff, aus welchem die Kugel verfertigt ist.

2) Die Schwingungsdauer ist unabhängig von der Größe des Ausschlagswinkels, solange derselbe überhaupt klein bleibt, sie bleibt also dieselbe, mag der Ausschlagswinkel 1, 2 oder 3 Grad betragen.

3) Die Schwingungsdauer ist der Quadratwurzel aus der Pendellänge proportional. Ein 4 mal, ein 9 mal längeres Pendel wird also eine 2 mal, eine 3 mal größere Schwingungsdauer haben, wie man dies mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 35 nachweisen kann.

Das zuletzt ausgesprochene Gesetz bezieht sich nur auf einfache Pendel, es gilt nicht für materielle Pendel, welche aus einer Stange von namhaftem Gewicht bestehen, an welche an verschiedenen Stellen noch weitere schwere Massen angebracht sind, wie z. B. Fig. 36 und 37, Taf. 2, zeigt. Das um die Schneide a schwingende Pendel Fig. 36 wird offenbar langsamer schwingen, als wenn nur die obere, aber schneller, als wenn nur die untere Bleilinse vorhanden wäre. Die obere Linse ist also in ihrer Bewegung verzögert, die untere ist beschleunigt.

Wenn ein Theil der Masse des Pendels über der Schneide liegt, um welche es schwingt, wie dies z. B. bei dem Pendel Fig. 37 der Fall ist, so wird dadurch die Schwingungsdauer des Pendels vergrößert.

Ueberall da, wo ein fester Körper unter einem gewissen Druck über einem andern hinbewegt wird, muß ein Widerstand überwunden werden, welcher unter dem Namen der Reibung bekannt ist. So ist z. B. eine namhafte Kraft nöthig, um eine Last auf horizontaler Ebene fortzuschleifen. Die Größe dieser Kraft ist ein aliquoter Theil der Last. Das Verhältniß der Größe der Reibung zur Last wird Reibungscoëfficient genannt. Der Reibungscoëfficient ist abhängig von der Natur der übereinander hergleitenden Flächen. Er ist für

Eisen auf Eisen . . .	0,28
Eisen auf Kupfer	0,18
Eichen auf Eichen	0,42
Kiefern auf Kiefern	0,57.

Um den Werth der Reibungscoëfficienten zu ermitteln, bedient man sich des Tribometers, Fig. 52, Taf. 1, welches aus der Figur wol auch ohne weitere Beschreibung verständlich ist. Beträgt z. B. das Gewicht des Kästchens A sammt seinem Inhalt 1000 Grammen, so muß die Wagschale D sammt aufgelegtem Gewicht 280 Grammen wiegen, um das Kästchen über zwei parallele eiserne Schienen B wegzuziehen, wenn die untere Fläche des Kästchens A aus einer Eisenplatte besteht.

Wo ein Körper über einen andern **wegrollt**, findet **wälzende** Reibung statt, welche weit geringer ist, als die gleitende. Am Umfang unserer Wagenräder findet wälzende Reibung statt, an den Axen aber gleitende Reibung.

Die Reibung ist ein Bewegungshinderniß, welches in allen unsern Maschinen einen namhaften Theil der bewegenden Kraft absorbirt, also hier sehr störend wirkt. Alle Nachtheile der Reibung sind aber unbedeutend gegen die großen Vortheile, welche sie uns gewährt. Ohne Reibung könnten wir weder stehen noch gehen (Glatteis), ohne Reibung könnten wir nichts in der Hand fest halten. Die Reibung bietet dem Huf des Pferdes, dem Treibrad der Locomotive den Stützpunkt, deren sie bedürfen, um die nachfolgenden Lasten nachzuziehen u. s. w. Eine interessante Anwendung der Reibung wird durch Fig. 38, Taf. 2, erläutert. Eine Last P hängt an einem Seil, welches mehrmals über einen nicht drehbaren Cylinder geschlungen ist. Die Last P kann nun nicht niedergehen, ohne daß das Seil am Umfang des Cylinders eine bedeutende Reibung zu überwinden hat, es bedarf deshalb nur einer geringen, am andern Ende des Seils wirkenden Kraft O, um der Last P das Gleichgewicht zu halten.

Die Bewegungserscheinungen **flüssiger Körper** unterscheiden sich dadurch wesentlich von denen fester Körper, daß sich einzelne Theile leicht von der ganzen Masse ablösen und für sich bewegen können; bringt man z. B. im Boden oder in der Seitenwand eines mit Wasser gefüllten Gefäßes eine Oeffnung an, so springt aus dieser ein Wasserstrahl hervor, während die Wassermasse im Gefäß fast ganz in Ruhe bleibt. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Wasserstrahl aus einer in dünner Wand gemachten Oeffnung hervorschießt, ist gleich der Geschwindigkeit, welche ein freifallender Körper erlangt, wenn er vom Spiegel der Flüssigkeit im Gefäß bis zu der Ausflußöffnung herabfällt.

Um die Richtigkeit dieses Gesetzes nachzuweisen, kann man sich u. a. des **Mariotte'schen Ausflußgefäßes**, Fig. 39, Taf. 2, bedienen. Eine große Glasflasche ist unten mit einem kurzen Seitenrohr versehen, auf welches eine Messingfassung rs aufgekittet ist; auf diese wird dann die Messingplatte mit der Ausströmungsöffnung o aufgeschraubt. Oben ist die Flasche durch einen Kork luftdicht geschlossen, durch welchen ein bis unter den Wasserspiegel hinabreichendes Rohr ba hindurchgeht. Alles Wasser über a ist durch den Luftdruck äquilibrirt, der Ausfluß bei o erfolgt also unter dem Druck einer Wassersäule, deren Höhe gleich ist der Höhendifferenz zwischen a und o. Stellt man also die Röhre ba so, daß sich a 1, 2, 3, 4 Decimeter hoch über o befindet, so erfolgt der Ausfluß unter dem Druck einer Wassersäule von 1, 2, 3, 4 Decimeter Höhe. Der ausfließende Strahl beschreibt also eine Parabel, deren Gestalt man nach der berechneten Ausflußgeschwindigkeit construiren kann.

Das Ausströmen der Gase aus feinen Oeffnungen der Recipienten, in welchen sie enthalten und durch den Druck einer Wasser- oder Quecksilbersäule comprimirt sind, erfolgt nach denselben Gesetzen, nur muß man als Druckhöhe die Höhe einer Gassäule von gleicher Dichtigkeit mit dem eingeschlossenen Gase setzen, welche der comprimirenden Wasser- oder Quecksilbersäule das Gleichgewicht hält.

B. Akustik.

(Tafel 3.)

Akustik ist die Lehre vom Schall.

Der **Schall** wird hervorgebracht durch die rasche Oscillationsbewegung eines elastischen Körpers, welche in den umgebenden Medien eine Wellenbewegung erzeugt und welche bis zum Ohre fortgepflanzt hier die Empfindung des Schalls hervorruft.

Wenn der oscillirende Körper nach einer Seite hin schwingt, so wird hier die Luft verdichtet und diese Verdichtung pflanzt sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort; wenn aber der oscillirende Körper zurückschwingt, so wird dadurch eine Luftverdünnung erzeugt, welche der vorangegangenen Verdichtungswelle mit der gleichen Geschwindigkeit folgt. Fig. 1 zeigt, wie sich die regelmäßig aufeinanderfolgenden Verdichtungs- und Verdünnungswellen von dem schallenden Körper aus bis zum Ohre verbreiten.

Fig. 2 soll dazu dienen, die Bildung der **Schallwellen** näher zu erläutern. Der Einfachheit wegen wollen wir eine Luftsäule betrachten, welche in einer Röhre eingeschlossen ist, an deren einem Ende ein Kolben q rasch hin- und herschwingt. Bei I hat der Kolben seine Bewegung noch nicht begonnen, die einzelnen Luftschichten in der Röhre sind gleich dicht. Sobald der Kolben q zu oscilliren beginnt, theilt sich seine Oscillationsbewegung den folgenden Luftschichten mit, aber so, daß die Bewegung die folgenden Schichten um so später erreicht, je weiter sie vom Kolben entfernt sind.

Nr. II, Fig. 2 stellt den Moment dar, wo der Kolben q zum ersten mal seine Bewegung nach rechts vollendet hat; die Bewegung hat sich unterdeß bis zur Luftschicht 6 fortgepflanzt, welche in demselben Moment ihre Bewegung nach rechts beginnt, in welchem der Kolben sie beendigt hat. Zwischen dem Kolben und der Schicht 6 muß eine **Luftverdichtung** stattfinden, welche sich, da die verdichtete Luft sich wieder auszudehnen strebt, nach rechts und zwar mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortpflanzt.

Unterdessen aber geht der Kolben in seine Anfangsstellung zurück. Ist er in derselben angekommen, Nr. III, so ist nun die Bewegung bis zur Luftschicht 12, die größte Verdichtung bis zur Schicht 9 fortgeschritten, zwischen 6 und dem zurückgehenden Kolben hat sich aber nun eine **Luftverdünnung** gebildet, welche der vorangehenden Verdichtungswelle mit der gleichen Geschwindigkeit folgt.

Bei jeder folgenden Oscillation bildet sich nun von neuem eine Verdichtungs- und Verdünnungswelle, die einander mit gleichförmiger Geschwindigkeit folgen, wie Nr. IV und V anschaulich machen sollen, welche die Momente darstellen, in welchen der oscillirende Kolben seinen Hin- und Hergang zum zweiten und zum dritten male vollendet hat.

Der Abstand von der Mitte einer Verdichtungswelle bis zur nächsten, oder von einem Maximum der Verdünnung bis zum folgenden, also in Fig. 2, Nr. V, von 9 bis 21 und von 3 bis 15 ist eine **Wellenlänge**.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Schallwellen in der Luft fortpflanzen, ist ohngefähr 1050 Fuß in der Secunde. Für tiefe Töne ist die Wellenlänge größer, für hohe ist sie kleiner. Für das eingestrichene c ist die Wellenlänge ungefähr $4\frac{1}{10}$ Fuß.

Ebenso wie in Luft können sich die Schallwellen auch in festen Körpern und in Flüssigkeiten verbreiten, doch ist in beiden die Fortpflanzungsgeschwindigkeit weit größer als in Luft. Im leeren Raume kann sich der Schall nicht fortpflanzen, wie der Versuch zeigt, wenn man ein aufgezogenes Weckerwerk unter die Glocke der Luftpumpe bringt, Fig. 3, und dann evacuirt.

Die Schallstrahlen werden nach denselben Gesetzen **reflectirt**, wie die Licht- und Wärmestrahlen, wie dies aus dem Hohlspiegelversuch Fig. 4 hervorgeht. Bringt man in den Brennpunkt A eines sphärischen Hohlspiegels rs eine Taschenuhr, so werden alle von

ihr ausgehenden Schallstrahlen parallel mit der Axe des Hohlspiegels rs reflectirt. Fängt man sie nun mit einem zweiten Hohlspiegel tu auf, der so aufgestellt ist, daß seine Axe mit der von rs zusammenfällt, so wird das von rs kommende Strahlenbündel von tu so reflectirt, daß die reflectirten Schallstrahlen im Brennpunkt B wieder vereinigt werden. Ein in B befindliches Ohr hört die Uhr ticken, selbst wenn der Abstand der beiden Hohlspiegel 20—40 Fuß und mehr beträgt.

Auf der Reflexion des Schalls beruht die Bildung des *Echos*, die Construction des *Hörrohrs* und des *Sprachrohrs*.

Wenn man eine durch Anstreichen mit dem Fiedelbogen zum Tönen gebrachte Glasglocke über eine unten geschlossene Pappröhre, Fig. 5, hält, so vernimmt man eine bedeutende Verstärkung des Tons, wenn die Länge der Röhre gerade $1/4$ von der Wellenlänge des einfallenden Tons ist. Ebenso hört man eine Verstärkung, wenn man eine angeschlagene Stimmgabel (eingestrichenes a) über einen etwa $1\,1/2$ Zoll weiten Glascylinder, Fig. 6, hält, der so weit mit Wasser gefüllt ist, daß oben ungefähr ein $7\,7/10$ Zoll hoher Raum frei bleibt. Diese Verstärkung des Tons rührt daher, daß durch das Zusammenwirken (*Interferenz*) der einfallenden und der am Boden des Rohrs reflectirten Schallwellen die Luftsäule im Rohr in den Zustand stehender Schwingungen versetzt wird, sodaß alle Luftschichten im Rohr gleichzeitig sich gegen den Boden hin und dann gleichzeitig wieder vom Boden wegbewegen, was bewirkt, daß am Boden abwechselnd eine Verdichtung und dann wieder eine Verdünnung der Luft stattfindet, wie Fig. 8 andeutet, während am Eingange der Röhre zwar die Lufttheilchen lebhaft hin- und hergehen, ohne daß jedoch hier eine Verdichtung oder Verdünnung stattfände.

Die Luftsäule im Rohre, Fig. 5, kommt auch ins Selbsttönen, wenn man über dieselbe eine mit dem Fiedelbogen angestrichene Glocke hält, die einen Ton gibt, dessen Wellenlänge $4/3$ mal so groß ist als die Länge der Röhre. In diesem Falle bildet sich in dem Rohre ein *Schwingungsknoten* bei T, Fig. 9, welcher um $1/3$ der Röhrenlänge von der Mündung absteht; die Luftschicht an dieser Stelle bleibt ohne Bewegung, indem aber von beiden Seiten sich alle Luftschichten im Rohre gegen T hin bewegen, entsteht hier eine Luftverdichtung*) und gleichzeitig am Boden eine Luftverdünnung (Nr. I). Alsbald aber bewegen sich alle Luftschichten im Rohre nach beiden Seiten hin von T weg, dann entsteht bei T eine Luftverdünnung und am Boden aber eine Verdichtung (Nr. II). In der Mitte zwischen T und dem Boden findet weder Verdichtung noch Verdünnung statt, hier aber gehen die Luftschichten zwischen den weitesten Grenzen hin und her. Solche Stellen bezeichnet man als Bäuche.

Auch in beiderseits offenen Röhren kann man die Luft zum Selbsttönen bringen, wenn man einen tönenden Körper vor die eine Mündung hält, Fig. 7, dessen Wellenlänge doppelt so groß oder gleich ist der Länge des Rohrs. Im ersten Falle bildet sich ein Schwingungsknoten in der Mitte des Rohrs, im letztern Falle entstehen zwei, deren jeder um $1/4$ der Röhrenlänge von der nächsten Mündung absteht.

Um die Luftsäule in einem offenen oder gedeckten Rohre zum Tönen zu bringen, ist es aber nicht nöthig, die Wellen eines schon gebildeten Tons in die Röhre einfallen zu lassen, es erfolgt auch, wenn man einen Windstrom in geeigneter Weise an den Rändern des Rohrs vorbeiführt, wie dies in zweckmäßigster Form bei den *Orgelpfeifen*, Fig. 10 und 11, geschieht. Die in den Fuß der Pfeifen aus der Windlade eingeblasene Luft dringt aus einer schmalen Spalte hervor, um sich an der obern Kante des Mundes zu brechen. Man unterscheidet offene (Fig. 10) und gedeckte Pfeifen, Fig. 11.

Die Existenz der Schwingungsknoten in Pfeifen läßt sich experimentell mit gläsernen Pfeifen, Fig. 12, nachweisen, in welche ein mit dünnem Papier überspanntes Rähmchen herabhängt. Auf das Papier wird etwas Sand gestreut, welcher ruhig bleibt oder lebhaft tanzt, je nachdem sich das Rähmchen an der Stelle eines Knotens oder eines Bauchs befindet.

Der tiefste Ton, welchen eine Pfeife bei verhältnißmäßig schwachem Winde gibt, ist ihr Grundton, bei verstärktem Winde gibt sie höhere Töne, welche man als *Obertöne* bezeichnet.

Die Höhe eines Tons hängt ab von seiner Schwingungszahl, d. h. von der Anzahl der Vibrationen, welche der tönende Körper in einer Secunde macht. Je größer die Schwingungszahl, desto höher der Ton. Man erhält die Schwingungszahl eines Tons, wenn man seine Wellenlänge in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls dividirt. Da man nun durch die Länge einer Pfeife die Wellenlänge ihres Grundtons kennt, so kann man danach auch seine Schwingungszahl berechnen. So ist z. B. die Wellenlänge des Grundtons einer 2füßigen offenen Pfeife gleich 4 Fuß, also seine Schwingungszahl $\frac{1050}{4} = 262{,}5$. Gibt eine gegebene Pfeife einen bestimmten Grundton, so gibt also eine Pfeife von halber Länge einen Ton von doppelt so viel Schwingungen, welcher als *Octav* jenes Grundtons bezeichnet wird.

Daß die Octav doppelt so viel Schwingungen macht wie der Grundton, läßt sich auch dem Auge sichtbar machen. Um eine verticale Achse ist ein quadratisches Kästchen drehbar, Fig. 13, dessen vier Wände durch Spiegel gebildet sind. In der Nähe dieser Spiegel befindet sich eine flache Büchse, deren Rückwand durch eine feste Metallplatte, deren Vorderwand aber durch eine dünne gespannte Kautschukplatte gebildet wird. In diese Büchse wird von der Rückseite her durch einen Schlauch Leuchtgas eingeführt, welches durch einen kleinen Brenner wieder austritt. Das austretende Gas wird angezündet und bildet dann eine ruhige, durch ein Glasrohr vor Luftzug geschützte Flamme, welche in dem rotirenden Spiegel als ein continuirlicher Lichtstreif erscheint. Hält man aber vor die Vorderseite der Büchse eine offene Pfeife, so wird der Lichtstreif, sobald die Pfeife angeblasen wird, in eine Reihe einzelner Flammen zerlegt erscheinen, Fig. 14, deren Anzahl sich verdoppelt, wie die untere Flammenreihe der Fig. 14 zeigt, wenn die erste Pfeife mit einer zweiten vertauscht wird, welche die Octav der ersten gibt.

Von irgendeinem Ton ausgehend ist dessen *Quint*, dessen *große Terz* ein Ton, der $3/2$ mal, $5/4$ mal so viel Schwingungen macht als der erstere. Wird der Grundton durch eine Pfeife von der Länge l erzeugt, so erhält man seine Terz, seine Quint und seine Octav durch Pfeifen von der Länge $4/5$ l, $2/3$ l und $1/2$ l.

Genauer als durch Pfeifen kann man die Schwingungszahl eines Tons durch die *Sirene* bestimmen, deren einfachste Form in Fig. 15 dargestellt ist. An einer horizontalen Axe, welche in rasche Rotation versetzt werden kann, ist eine starke Pappscheibe angebracht, in welcher sich 4 concentrische Löcherreihen befinden; die innerste hat 48, die zweite hat $48 \,.\, 5/4 = 60$, die folgende $48 \,.\, 3/2 = 72$, die äußerste hat $48 \,.\, 2 = 96$ Löcher. Durch ein Kautschukrohr B, in welchem ein Holzröhrchen steckt, dessen Mündung etwas enger ist als ein

*) In Fig. 9, I steht T an der unrechten Stelle; es muß vertical über T in Fig. 9, II stehen.

Loch der Scheibe, wird nun ein Luftstrom gegen eine rotirende Löcherreihe geblasen und dadurch ein Ton erzeugt, dessen Schwingungszahl gleich ist der in einer Secunde vor der Mündung passirenden Löcher. Macht z. B. die Scheibe 18 Umdrehungen in der Secunde, so wird durch die innerste Löcherreihe ein Ton erzeugt, dessen Schwingungszahl 18 . 48 = 864 ist. Es ist dies das zweigestrichene a (a''). Die zweite, dritte und äußerste Löcherreihe gibt dann bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe die große Terz, die Quint und die Octav von a''.

Mit großer Genauigkeit läßt sich die Schwingungszahl einer Stimmgabel mit Hülfe des **Phonautographen**, Fig. 16, bestimmen. Ein eiserner Stab, welcher an seinem einen Ende A mit einem durch die Schraubenmutter b geführten Schraubengewinde versehen ist, auf der andern Seite aber mittels einer Kurbel umgedreht werden kann, trägt in seiner Mitte eine messingene Trommel T. Auf dieser Trommel wird ein Papiermantel befestigt und mit einer stark rußenden Flamme geschwärzt. An die berußte Fläche wird alsdann eine große, in einem passenden Stativ befestigte Stimmgabel so herangerückt, daß der an der einen Zinke befestigte metallene feine Schreibstift r schwach gegen die Papierfläche angedrückt ist. Wird nun die Stimmgabel durch Anstreichen mit dem Fiedelbogen in Vibrationen versetzt und sogleich der Cylinder gedreht, so schreibt der Metallstift r auf der berußten Fläche eine Sinuscurve in der Art, wie Fig. 17 zeigt. Nun ist aber die Stimmgabel mit dem einen, die Axe der metallenen Walze mit dem andern Pole der Nebenspirale eines kräftigen Inductionsapparats verbunden. So oft der Hauptstrom desselben unterbrochen wird, schlägt ein Funke zwischen r und der Metallwalze über, welcher ein feines Loch in das geschwärzte Papier macht, wie solche bei a, b und c angedeutet sind. Wenn nun dafür gesorgt ist, daß der Hauptstrom genau alle Secunden einmal unterbrochen wird, so wird das Ende jeder Secunde durch ein solches Pünktchen markirt und man kann dann leicht die Anzahl der Schwingungen zählen, welche in 1'' gemacht worden sind.

Eine gespannte **Saite** kann entweder ihrer ganzen Länge nach schwingen, wie bei a, Fig. 18, angedeutet ist, und dann gibt sie ihren Grundton, oder sie kann durch einen Schwingungsknoten in 2 gleiche Theile getheilt sein, wie bei b, Fig. 18, und dann gibt sie die Octav des Grundtons, oder sie kann durch zwei Schwingungsknoten in 3 gleiche Theile getheilt sein, wie bei c, Fig. 18, und dann gibt sie die Duodecim (die Quint der Octav) ihres Grundtons.

Um Versuche über die Gesetze tönender Saiten anzustellen, gebraucht man das **Monochord**, Fig. 19. Die Schwingungszahl einer Saite ist unter sonst gleichen Umständen ihrer Länge umgekehrt proportional; man braucht also nur die hintere der beiden Saiten, Fig. 19, welche durch einen Stimmstock gespannt ist, mittelst der Klemme, Fig. 20, auf $^4/_5$, auf $^2/_3$, auf $^1/_2$ ihrer ganzen Länge zu verkürzen, um die große Terz, die Quint und die Octav ihres Grundtons zu erhalten.

Die Schwingungszahl einer Saite ist der Quadratwurzel aus der spannenden Kraft proportional. Wenn also die vordere Saite bei Anhängung des Gewichts p einen bestimmten Ton gibt, so muß das Gewicht 4 p angehängt werden, wenn man die Octav jenes Tons erhalten will.

Die Transversalschwingungen elastischer Stäbe hängen davon ab, auf welche Weise sie befestigt sind. Seiner ganzen Länge nach ohne Schwingungsknoten kann ein elastischer Stab schwingen, wenn er an einem Ende befestigt ist. Dieser Art sind die Schwingungen, welche jeder der beiden Schenkel einer tönenden **Stimmgabel** macht. Um den Ton der Stimmgabel hörbarer zu machen, setzt man ihn auf ein **Resonanzkästchen**, Fig. 21, dessen Länge gleich ist $^1/_4$ der Wellenlänge des Stimmgabeltons.

Legt man einen Stahlstab über zwei gespannte Schnüre, wie Fig. 22 andeutet, so gibt er mit einem hölzernen Hämmerchen angeschlagen einen vollen Ton; dabei bilden sich zwei Schwingungsknoten, deren jeder um $^1/_6$ der Stablänge vom nächsten Ende absteht. Je kürzer der Stab, desto höher der Ton; die Schwingungszahl ist bei sonst unveränderten Dimensionen dem Quadrat der Stablänge umgekehrt proportional; man muß also den Stab $\sqrt{\frac{1}{2}} = 0{,}7$ mal kürzer machen als einen andern gleichbreiten und gleichdicken, wenn er die Octav desselben geben soll. Man hat dies benutzt, um die **obere Grenze der Hörbarkeit** ausfindig zu machen. Ein Stahlstab von 149 Millimeter Länge und 20 Millimeter Durchmesser gibt den Ton c_5 (das fünfgestrichene c). Es müssen also Stäbe von gleichem Durchmesser, die nur $149\sqrt{\frac{1}{2}} = 105{,}3$; $149\sqrt{\frac{1}{4}} = 74{,}5$ oder $149\sqrt{\frac{1}{8}} = 52{,}6$ Millimeter lang sind, die Töne c_6, c_7 und c_8 geben. Es lassen sich auch leicht Stäbe herstellen, welche das e und das g der 5-, 6- und 7-gestrichenen Octave geben müßten. Die längern dieser Stäbe werden aufgelegt wie Fig. 23, die kürzern werden aufgehängt, wie Fig. 24 zeigt. Weniger feine Ohren können schon g_6 (12288 Schwingungen in 1'') nicht mehr hören, während selbst die besten Ohren g_7 (24576 Schwingungen in 1'') nicht mehr wahrnehmen können.

Man hat in neuerer Zeit Mittel gefunden, das akustische Intervall zweier Stimmgabeln sehr genau auf optischem Wege zu controliren. In dem Blechcylinder, welcher die Flamme einer Argand'schen Lampe, Fig. 25, umgibt, ist eine kleine Oeffnung a angebracht, durch welche ein Lichtstrahl auf einen kleinen Spiegel fällt, der an einer horizontal gestellten großen Stimmgabel befestigt ist; der hier reflectirte Strahl trifft einen zweiten kleinen Spiegel, der von einer vertical aufgestellten Stimmgabel getragen wird. Die hier zum zweiten male reflectirten Strahlen werden endlich von einer Linse aufgefangen, welche auf einem hinter ihr aufgestellten Schirm das Bild des Lichtpunkts a entwirft. Sind beide Stimmgabeln ruhig, so erscheint dieses Bild als ein heller Punkt, welcher zur horizontalen Lichtlinie wird, wenn nur die horizontale, zur verticalen Lichtlinie aber, wenn nur die verticale Stimmgabel durch Anstreichen mit dem Fiedelbogen zum Vibriren gebracht worden ist. Wenn aber beide Stimmgabeln gleichzeitig vibriren, so bildet der Lichtpunkt eine Curve, deren Gestalt von dem Intervall der beiden Stimmgabeln abhängt.

Wenn beide Stimmgabeln unisono sind, so ist die fragliche Curve entweder eine schiefstehende gerade Linie oder eine Ellipse, kurz eine der Curven der obern Reihe der Fig. 26 oder eine Zwischenform, wenn aber die eine Stimmgabel die Octav der andern ist, so entsteht eine der Curven der untern Reihe oder eine ihrer Zwischenformen.

Wenn das Intervall der beiden Stimmgabeln ganz genau ist, wenn also beide genau unisono sind, oder wenn die eine genau die Octav der andern ist, so bleibt die Gestalt der Curve unverändert, sie wird nur allmählich kleiner, weil die Vibrationen der Stimmgabeln kleiner werden. Wenn aber das Intervall der Stimmgabeln nicht ganz genau ist, so nimmt die Curve eine drehende Bewegung an. Sind z. B. die beiden Stimmgabeln nahezu unisono, so geht nach und nach die Form

a in b, b in c, c in d, d in e und dann wieder umgekehrt e in d u. s. w. über. Wenn nun zu einer vollen Drehung etwa 5 Secunden erforderlich sind, so kann man daraus schließen, daß die eine Stimmgabel in 5 Secunden 1 Schwingung mehr macht als die andere. Auf diese Weise wird die geringste Abweichung vom genauen Intervall bemerklich.

Elastische Stäbe können auch in longitudinaler Richtung vibriren und befolgen dann die Gesetze vibrirender Luftsäulen in Pfeifen. Wenn z. B. Holzstäbchen, welche in einen Holzkloß eingeleimt sind, wie Fig. 27 zeigt, mit den Fingern, zwischen denen man etwas Kolophonium zerrieben hat, von oben nach unten gestrichen werden, so geben sie einen reinen Ton. Das zweite, dritte und vierte Stäbchen gibt die große Terz, die Quint und die Octav des ersten, wenn ihre Länge $^4/_5$, $^2/_3$ und $^1/_2$ derselben beträgt.

Um ebene Platten von Metall oder Glas zum Tönen zu bringen, spannt man sie in eine Zwinge ein, wie Fig. 28 zeigt. Mit einem Fiedelbogen angestrichen theilen sie sich in einzelne, durch Knotenlinien getrennte Abtheilungen, welche für sich schwingen. Man kann die Lage der Knotenlinien sichtbar machen, wenn man feinen Sand auf die Platte streut und sie dann zum Tönen bringt; der Sand häuft sich dann an den ruhenden Stellen an und bildet Figuren, wie deren einige in Fig. 29 abgebildet und unter dem Namen der Chladni'schen Klangfiguren bekannt sind. Die in Fig. 29 dargestellten Figuren entstehen, wenn die eine quadratische Platte in der Mitte festgehalten wird und man am Rande an der mit b bezeichneten Stelle streicht, während man die mit a bezeichneten Stellen mit dem Finger berührt. Runde Platten, welche in der Mitte eingespannt sind, geben radiale Figuren, und zwar vier Strahlen, wenn der angehaltene und angestrichene Punkt des Randes um 45°, sechs Strahlen, wie Fig. 30b, wenn der gestrichene Punkt um 30° vom angehaltenen absteht. Die Klangfiguren runder Scheiben bilden concentrische Ringe, wie Fig. 30, wenn sie auf irgendeine Weise vom Mittelpunkt aus in Vibrationen gesetzt werden.

Die Vibrationen dünner metallischer Plättchen sind an und für sich fast ganz klanglos, sie können aber die Bildung eines kräftigen Klangs vermitteln, wenn ein Luftstrom aus einer Oeffnung hervordringt, welche durch die Vibrationen einer solchen elastischen Platte in regelmäßigen Intervallen geschlossen und wieder geöffnet wird. Derartige Instrumente werden Zungenwerke genannt. Die einfachste Form der Zungen wird durch Fig. 31 und 32 erläutert; es ist diejenige, welche bei der Mund- und Blasebalgharmonica (Harmonium) vorkommt. In der Mitte einer Messingplatte aa, welche in Fig. 31 perspectivisch, in Fig. 32 aber im Durchschnitt dargestellt ist, befindet sich eine rectanguläre Oeffnung bb, welche durch ein elastisches Metallblättchen zz bedeckt wird. In ihrer Ruhelage sowol, wie in der Lage zz_2, Fig. 32, wird die Oeffnung durch die Zunge geschlossen, während sie frei wird, wenn die Zunge in die Lage zz_1 kommt. Die Messingplatte aa bildet nun die untere Grenzfläche einer geschlossenen Kammer, in welcher die Luft durch Einblasen verdichtet wird. Die verdichtete Luft übt einen Druck auf die Zunge aus, durch welchen die Vibrationen derselben eingeleitet werden. So oft die vibrirende Zunge in die Lage zz_1 kommt, bringt durch die freigewordene Oeffnung ein Luftstoß in der Richtung des Pfeils hindurch, der eine Verdichtungswelle erzeugt, und so entsteht ein Ton, welcher von der Schwingungsdauer der federnden Zunge abhängt.

In etwas anderer Form kommen auch Zungenwerke bei Orgeln in Anwendung.

Eine zweite Art der Zungenwerke besteht aus membranösen elastischen Platten, welche die beiden Lippen eines schmalen Spaltes bilden und welche durch ihre Oscillationen den Spalt abwechselnd öffnen und schließen. Eine solche membranöse Zungenpfeife läßt sich auf folgende Weise herstellen. Von einer $^1/_2$ bis $^3/_4$ Zoll weiten Röhre dünnen Kautschuks schneide man ein 2 Zoll langes Stück ab und stecke es auf das eine Ende eines gleichweiten Glasrohrs, wie Fig. 33 zeigt. Wenn man nun die Kautschukröhre an ihrem obern Ende an zwei gegenüberliegenden Punkten faßt und auseinanderzieht, so bildet sich eine Ritze, deren Ränder von Kautschuk sind, und wenn man nun von der andern Seite her in das Rohr hineinbläst, so erhält man einen Ton, der um so höher wird, je stärker die beiden Lippen angespannt werden.

Im Kehlkopf, dem menschlichen Stimmorgan, entstehen die Töne gleichfalls auf die durch Fig. 33 erläuterte Weise.

Es bleibt uns nun noch übrig zu besprechen, woher der Unterschied der Klangfarbe verschiedener Instrumente rührt, woher es kommt, daß z. B. der auf einer Flöte gespielte Ton von demjenigen zu unterscheiden ist, welcher der gleichen Note auf dem Klavier, der Violine, der Trompete u. s. w. entspricht. Es rührt das nach den neuesten Untersuchungen daher, daß die Klänge der meisten Instrumente nicht einfach sind, sondern daß neben dem Ton, welcher einer bestimmten Note zukommt, noch eine Reihe von Obertönen mitklingt, d. h. Töne, welche durch 2, 3, 4 mal u. s. w. so viel Schwingungen erzeugt werden als der Grundton. Wenn man z. B. auf dem Klavier die Taste anschlägt, welche der Note c entspricht, so hört man nicht allein den Ton c (128 Schwingungen in 1″), sondern einen zusammengesetzten Klang, in welchem außer dem allerdings vorherrschenden c auch noch die Töne c_1, g_1, c_2, e_2 und g_2 mit 2, 3, 4, 5 und 6 mal so viel Schwingungen in der Secunde enthalten sind. — Der Klangcharakter eines Instruments hängt nun davon ab, welche Obertöne und in welcher Stärke dieselben den Grundton begleiten.

Ein geübtes Ohr kann die Obertöne aus der Klangmasse heraushören; um dieselben aber mit größerer Sicherheit nachzuweisen, wendet man die sogenannten Resonatoren an, d. h. gläserne oder messingene Hohlkugeln von der Form Fig. 35, oder konische aus Zinkblech verfertigte Röhren, Fig. 34, oder endlich einerseits offene Papperöhren von der Form Fig. 36, welche solche Dimensionen haben, daß die eingeschlossene Luftmasse ins Selbsttönen kommt, wenn die Wellen eines bestimmten Tons einfallen, wie wir dies bei dem Apparat Fig. 5 gesehen haben. Der Oeffnung gegenüber sind diese Resonatoren mit einer engern Mündung versehen, mittels deren man sie in das Ohr einführen kann. Um z. B. die Obertöne von c nachzuweisen, muß man mehrere Resonatoren haben, deren Eigenton der Reihe nach das eingestrichene c und g, das zweigestrichene c, e und g u. s. w. ist. Hält man nun einen dieser Resonatoren an das Ohr, so hört man den ihm entsprechenden Oberton (z. B. g_1), wenn auf dem Klavier c angeschlagen wird. Man hört diesen Ton g nicht, trotzdem daß man den entsprechenden Resonator ans Ohr hält, wenn man auf dem Klavier d anschlägt, weil g_1 kein Oberton von d ist, man hört den Ton g_1 aber auch nicht, wenn der Ton c auf einer weiten gedeckten Pfeife angeblasen wird, weil die Töne weiter gedeckter Pfeifen keine Obertöne haben.

C. Optik.

(Tafel 4, Tafel 5 und Figur 1—10 auf Tafel 6.)

I. Fortpflanzung des Lichts und Photometrie.

Optik ist die Lehre vom Licht.

Von einem leuchtenden oder von einem erleuchteten, Licht zerstreuenden Körper aus verbreitet sich das Licht geradlinig nach allen Seiten hin, solange die Lichtstrahlen in dem gleichen Stoffe (Mittel) bleiben, solange also ein Lichtstrahl im Wasser, solange er in Glas, solange er in Luft von gleichförmiger Dichtigkeit sich fortbewegt, findet keine Richtungsänderung statt.

Eine Folge der geradlinigen Fortpflanzung des Lichts ist der Schatten. Wenn die von einem leuchtenden Punkte s, Fig. 1, Taf. 4, ausgehenden Strahlen einen undurchsichtigen Körper treffen, so wird sich hinter demselben ein Raum befinden, in welchen von s aus kein Lichtstrahl eindringen kann, und dieser Raum wird der Schatten genannt.

Wenn der leuchtende Körper eine namhafte Ausdehnung hat, so ist außer dem vollen Schatten, Kernschatten, in welchen gar kein Licht vom leuchtenden Körper aus eindringt, noch ein Halbschatten, d. h. ein Raum zu unterscheiden, in welchem eine theilweise Erleuchtung stattfindet. Fig. 2 erläutert die Bildung des Schattens für den Fall, daß der leuchtende Körper A größer ist, als der Schatten gebende B. Der Kernschatten bildet hier einen Kegel, dessen Spitze in s liegt. Während der Durchmesser des Kernschattens mit der Entfernung von B abnimmt, nimmt der Durchmesser des Halbschattens zu. Jenseit s verschwindet der Kernschatten vollständig, während der immer breiter werdende Halbschatten allmählich schwächer und verschwommener wird.

Durch einen Schirm m n, Fig. 2, aufgefangen, würde der Schatten das Ansehen Fig. 3 haben.

Es werde ein Theil des vom leuchtenden Punkte L, Fig. 4, ausgehenden Lichts durch einen quadratischen Papierschirm a b c d aufgefangen, welcher etwa in 1 Meter Entfernung von L aufgestellt ist, so wird die Erleuchtung dieser Fläche eine bestimmte Stärke (Intensität) haben, die wir mit J bezeichnen wollen; hinter der Fläche a b c d aber wird sich ein Schatten bilden, dessen quadratischer Querschnitt mit der Entfernung von L zunimmt. Denken wir uns den Schatten von a b c d durch eine Fläche aufgefangen, welche um 2 Meter von L entfernt ist, so wird er auf dieser Fläche ein Quadrat A B C D bilden, dessen Seiten doppelt so groß sind als die des schattengebenden Quadrats a b c d. Daraus folgt aber, daß der Flächeninhalt des Quadrats A B C D viermal so groß ist als der des Quadrats a b c d. Wird nun der Schirm a b c d entfernt und das von L ausgehende Licht auf einem 2 Meter weit von L entfernten Papierschirm aufgefangen, so wird sich nun alles Licht, welches vorher die Fläche a b c d erleuchtete, über eine 4 mal größere Fläche A B C D verbreiten. In der doppelten Entfernung ist also die Stärke der Erleuchtung 4 mal geringer, sie ist nur $1/4$ J. In derselben Weise läßt sich darthun, daß in der 3fachen, 4fachen u. s. w. Entfernung die Stärke der Erleuchtung 3 mal 3 oder 9 mal, 4 mal 4 oder 16 mal geringer ist als in der 1fachen Entfernung. Kurz, die Stärke der Erleuchtung nimmt ab im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung.

Dieser eben theoretisch abgeleitete Satz läßt sich auch experimentell beweisen. In die Mitte eines etwas über 12 Fuß langen, auf der Seite mit einem Maßstab, oben mit einer Rinne versehenen Balkens, Fig. 5, in welche passend sich mehrere Holzklötze leicht hin- und herschieben lassen, wird einer dieser Holzklötze gestellt, welcher einen mit Papier überspannten Rahmen s trägt. In der Mitte des Papierschirms ist ein Fettfleck angebracht, welcher hell auf dunkelm Grund erscheint, wenn er stärker von der Rückseite, dunkel auf hellem Grunde, wenn er stärker von der Vorderseite beleuchtet ist; bei gleichstarker Beleuchtung von vorn und hinten muß also dieser Fettfleck verschwinden. Dies erfolgt aber in der That, wenn man in einer beliebigen Entfernung vom Papierschirm s einen Schieber b mit vier Kerzenflammen aufstellt, wie es unsere Figur zeigt, und dann den nur eine Kerzenflamme tragenden Schieber a dem Schirm s so weit nähert, daß er nur noch halb soweit von s entfernt ist als b.

Man kann dieselbe Vorrichtung auch benutzen, um die Stärke zweier Lichtquellen zu vergleichen. Handelt es sich z. B. um die Vergleichung einer Kerzenflamme mit einer Argand'schen Lampe, so wird die Lampe auf die eine, die Kerze auf die andere Seite des Schirms s gestellt und letztere Lichtquelle so lange verschoben, bis der Oelfleck nicht mehr sichtbar ist. Nehmen wir an, dies sei erreicht, wenn die Lampe 6, die Kerzenflamme 2 Fuß vom Schirm entfernt ist, so verhält sich die Lichtstärke der Lampe zu der der Kerzenflamme wie 6 . 6 oder 36 zu 2 . 2 oder 4, die Leuchtkraft der Lampe ist also gleich der Leuchtkraft von 9 Kerzenflammen.

Fig. 6 erläutert eine andere Methode, die Leuchtkraft zweier Lichtquellen zu vergleichen. Vor einer weißen Wand wird ein etwa bleistiftdickes Stäbchen s angebracht und die beiden Lichtquellen k und g so gestellt, daß das Stäbchen zwei Schatten a und b auf die Wand wirft. Wenn diese beiden Schatten ungleich dunkel erscheinen, so nähert man die schwächere Lichtquelle, bis die Gleichheit der beiden Schatten erreicht ist. Nun werden die Abstände der beiden Lichtquellen von der Wand gemessen und danach dann das Verhältniß der Lichtstärken auf die oben erläuterte Weise berechnet.

II. Reflexion des Lichts (Katoptrik).

Lichtstrahlen, welche irgendeinen Körper treffen, werden

entweder I. an der Oberfläche desselben zurückgeworfen und zwar a) regelmäßig gespiegelt, oder
b) unregelmäßig zerstreut,

oder II. sie dringen in den Körper ein und werden
a) von demselben durchgelassen, oder
b) von demselben verschluckt, absorbirt.

Die regelmäßig gespiegelten, reflectirten Strahlen pflanzen sich von jedem Punkte der Oberfläche des spiegelnden Körpers aus nur nach einer einzigen bestimmten Richtung fort, die alsbald näher bestimmt werden soll, während sich die unregelmäßig zerstreuten Strahlen von der zurückwerfenden Fläche aus nach allen Seiten hin verbreiten. Die von der rauhen Oberfläche der meisten Körper unserer Umgebung unregelmäßig zerstreuten Strahlen sind es, welche uns diese Körper in ihrer wahren Gestalt sichtbar machen.

Wenn ein Lichtstrahl f n, Fig. 7, auf eine spiegelnde Fläche s s' trifft, so wird derselbe nach der Richtung n d reflectirt, welche mit dem sogleich zu definirenden Einfallsloth n p und dem einfallendn Strahl f n in einer Ebene liegt und einen Winkel r mit dem Einfallsloth macht, welcher dem Winkel i zwischen dem Einfallsloth und dem einfallenden Strahl gleich ist, oder mit andern Worten: der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich.

Mit dem Namen des Einfallslothes bezeichnet man das Perpendikel n p, welches man sich in demjenigen Punkte n der spiegelnden Ebene, in welchem derselbe vom Lichtstrahl f n getroffen wird, auf derselben errichtet denken kann.

Die Richtigkeit dieses Spiegelungsgesetzes läßt sich mit Hülfe des Apparats, Fig. 8, nachweisen. Der kleine Spiegel f, welchen unsere Figur von der Rückseite zeigt, ist auf einer horizontalen, um einen verticalen Zapfen drehbaren, mit der radienartigen Verlängerung b c versehenen Messingscheibe so befestigt, daß der Zeiger b c rechtwinkelig auf der Ebene des Spiegels f steht, daß also b c die Richtung des Einfallsloths für den Spiegel f bezeichnet.

Der Zapfen nun, um welchen sich die fragliche Messingscheibe mit dem Spiegel f und dem Zeiger b c drehen läßt, befindet sich im Mittelpunkt des halbkreisförmigen Bretes A, um dessen gekrümmten Theil ein, dasselbe überragender Streifen von Messingblech gelegt ist, in dessen Mitte bei a ein verticaler Spalt angebracht ist. Der Viertelskreis von a nach der rechten Seite hin ist in 90° getheilt. Stellt man nun der Reihe nach den Zeiger b c auf die Theilstriche 10, 20, 30 und 40, so wird ein durch den Spalt a eindringendes Strahlenbündel, welches auf die Mitte des Spiegels f trifft, von diesem nach den Theilstrichen 20, 40, 60 und 80 reflectirt werden.

Aus dem Spiegelungsgesetz erklärt sich nun auch die Entstehung der **Spiegelbilder**. Es sei s s', Fig. 9, ein ebener Spiegel, A ein vor der Ebene desselben befindlicher leuchtender Punkt. Die in n und in p den Spiegel von A aus treffenden Strahlen werden dem Spiegelungsgesetze zufolge nach n o und nach p q reflectirt. Verlängert man nun die reflectirten Strahlen n o und p q rückwärts, so schneiden sich diese Verlängerungen in dem Punkte a, welcher auf dem von dem leuchtenden Punkte A auf die Spiegelebene gefällten Perpendikel ebenso weit hinter der Spiegelebene liegt, wie A sich vor derselben befindet.

Alle von A aus auf den Spiegel fallenden Strahlen werden sich also nach der Reflexion so fortpflanzen, als ob sie von dem hinter der Spiegelebene gelegenen Punkte a kämen, a ist das Spiegelbild von A.

In Fig. 10 sei A B ein vor der Ebene des Spiegels s s' befindlicher Gegenstand, so ist nach dem oben Gesagten a das Bild von A, b ist das Bild von B und a b das Bild des Gegenstandes A B. Man übersieht leicht, daß Bild und Gegenstand zur Ebene des Spiegels **symmetrisch** sind. Ein in o befindliches Auge sieht das Bild von B nach der Richtung o p, das Bild von A nach der Richtung o n.

Zu den wissenschaftlichen Anwendungen ebener Spiegel gehört das **Heliostat**; es ist ein ebener Spiegel, mittels dessen ein Bündel Sonnenstrahlen in horizontaler Richtung durch eine im Fensterladen angebrachte Oeffnung in ein verfinstertes Zimmer hineingeworfen werden kann. Fig. 11 stellt ein einfaches Heliostat in Verbindung mit dem später zu besprechenden **Sonnenmikroskop** dar. Damit die vom Spiegel M reflectirten Strahlen stets dieselbe Richtung behalten, während doch die Sonne ihre Stellung am Himmelsgewölbe fortwährend ändert, muß die Stellung desselben in entsprechender Weise verändert werden können. Es wird dies dadurch erreicht, daß der Spiegel M um eine zur Ebene des Ladens rechtwinkelige horizontale Axe mittels des Knopfes A gedreht und seine Neigung gegen die Ebene des Ladens mittels des Knopfes B und einer kleinen Schraube ohne Ende beliebig geändert werden kann. Bei andern Heliostaten wird die Drehung des Spiegels durch ein Uhrwerk vermittelt.

Wenn man zwei ebene Spiegel unter einem Winkel zusammenstellt und irgendeinen Gegenstand A, Fig. 12, zwischen dieselben bringt, so sieht man außer dem Gegenstand zunächst noch ein Bild desselben nach einmaliger Reflexion in jedem Spiegel (B und B'). Das Bild jedes Spiegels dient aber wieder als Object für den andern, und so sieht man zwei weitere Bilder C und C', nach zweimaliger Reflexion. Wenn der Winkel, den die Spiegel miteinander machen $^1/_5$, $^1/_6$, $^1/_8$, $^1/_{10}$ des ganzen Kreisumfangs ist, so sieht man ihn 5mal, 6mal, 8mal, 10mal. Darauf beruhen das **Kaleidoskop** und das **Debuskop**.

Die Spiegelung des Lichts auf gekrümmten Flächen folgt ganz den Gesetzen, welche wir für ebene Spiegel kennen lernten. Von einer krummen Fläche wird nämlich ein Lichtstrahl nach derselben Richtung reflectirt, als ob er die Berührungsebene der krummen Fläche an der fraglichen Stelle getroffen hätte. Denkt man sich also in dem vom Lichtstrahl getroffenen Punkt einer krummen Oberfläche eine Normale gezogen, d. h. eine Linie, welche rechtwinkelig auf der Berührungsebene des getroffenen Punkts steht, so ist dies das Einfallsloth.

In der optischen Praxis werden wol kaum andere gekrümmte Spiegel gebraucht, als solche, deren Oberfläche ein Stück einer Kugeloberfläche ist. Wenn die innere, dem Krümmungsmittelpunkt zugewendete Fläche die spiegelnde ist, so nennt man die Spiegel **Hohlspiegel**, **Concavspiegel** oder auch **Sammelspiegel**. Wenn dagegen die Reflexion der Strahlen auf der dem Krümmungsmittelpunkt abgewendeten Fläche stattfindet, so nennt man sie **Convex-** oder **Zerstreuungsspiegel**.

In Fig. 13 stellt M M' den Durchschnitt eines sphärischen Hohlspiegels mit einer durch seine Mitte d und seinen Krümmungsmittelpunkt c gelegten Ebene dar. Die durch d und c gelegte gerade Linie ist die **Hauptaxe** des Hohlspiegels.

Wenn irgendein Lichtstrahl a b, Fig. 14, einen Hohlspiegel in einem Punkt b trifft, so ergibt sich die Richtung des reflectirten Strahls durch folgende Construction: man ziehe den Radius b C, welcher das Einfallsloth für den Strahl a b ist, und ziehe alsdann eine Linie b g, welche mit b C einen Winkel r macht, welcher gleich ist dem Einfallswinkel i.

Führt man diese Construction für einen Strahl aus, welcher sich parallel mit der Hauptaxe des Spiegels fortpflanzt, wie dies für den Strahl a b, Fig. 14, der Fall ist, so schneidet der reflectirte Strahl b g die Axe des Hohlspiegels in einem Punkte F, welcher zwischen d und C in der Mitte liegt, vorausgesetzt, daß die Krümmung von d bis b, also der Winkel x nur sehr klein ist.

Daraus folgt dann ferner, daß wenn ein Bündel Lichtstrahlen parallel mit der Hauptaxe auf einen schwachgekrümmten Hohlspiegel fällt, Fig. 15, daß alsdann alle diese Strahlen so reflectirt werden, daß sie die Axe in demselben Punkte F schneiden, welcher der **Hauptbrennpunkt**, **Focus**, des Hohlspiegels genannt wird. Die Entfernung d F, welche dem halben Krümmungshalbmesser gleich ist, heißt die **Brennweite** oder **Focaldistanz**.

Ein parallel mit der Axe auf einen Hohlspiegel fallendes Strahlenbündel kann man betrachten, als sei es ausgegangen von einem auf der Hauptaxe liegenden unendlich weit entfernten leuchtenden Punkte. Rückt der leuchtende Punkt auf der Axe dem Hohlspiegel näher, so entfernt sich der Vereinigungspunkt vom Spiegel. Die Construction ergibt z. B., daß alle von dem leuchtenden Punkt A, Fig. 16, ausgehenden Strahlen in einem Punkte a wieder vereinigt werden, welcher weiter vom Hohlspiegel entfernt ist als F. Je näher A dem Spiegel rückt, desto mehr entfernt sich sein Bild a von demselben. Ist der leuchtende Punkt bis zum Krümmungsmittelpunkt C vorgerückt, so werden alle

von C auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen auch nach C zurückgeworfen. Rückt der leuchtende Punkt von C dem Spiegel noch näher, so rückt der Vereinigungspunkt immer noch weiter weg, wäre z. B. der leuchtende Punkt in a, so würden alle von ihm auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen in A vereinigt werden.

Die so zusammengehörigen Punkte A und a werden conjugirte Punkte genannt.

Befindet sich der leuchtende Punkt im Brennpunkt F selbst, so liegt der Vereinigungspunkt in unendlicher Entfernung, oder mit andern Worten, alle von dem Brennpunkt F, Fig. 15, auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen werden als ein mit der Hauptaxe paralleles Strahlenbündel reflectirt. Wenn der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite liegt, wenn er sich z. B. in A, Fig. 17, befindet, so kann der Spiegel die ihn treffenden Strahlen nicht mehr convergent machen, sie divergiren nach der Reflexion, so als ob sie von einem hinter dem Spiegel gelegenen Punkt a kämen.

Wir haben bisher nur die Bilder solcher leuchtender Punkte besprochen, welche auf der Hauptaxe des Hohlspiegels liegen. Wenn nun ein leuchtender Punkt A, Fig. 18, außerhalb der Hauptaxe liegt, so kann man sich von ihm aus eine gerade Linie An durch den Krümmungsmittelpunkt C nach dem Hohlspiegel gezogen denken, welche den Namen einer Nebenaxe führt. Das Bild eines auf einer Nebenaxe liegenden leuchtenden Punktes befindet sich gleichfalls auf dieser Nebenaxe. Zwischen den gegenseitigen Entfernungen des leuchtenden Punktes und seines Bildes bestehen aber für die Nebenaxen genau dieselben Beziehungen wie für die Hauptaxe. Die von A ausgehenden Strahlen werden also durch den Hohlspiegel in a, die von B ausgehenden werden in b gesammelt, ab ist das Bild von AB. Befände sich umgekehrt in ab ein Gegenstand, so würde AB sein Bild sein.

Von einem Gegenstand, welcher um mehr als die doppelte Brennweite von dem Hohlspiegel absteht, entwirft derselbe ein verkehrtes verkleinertes, von einem Gegenstand aber, welcher zwischen dem Brennpunkt F und dem Krümmungsmittelpunkt C sich befindet, entwirft er ein verkehrtes vergrößertes Sammelbild.

Befindet sich ein Gegenstand AB, Fig. 20, innerhalb der Brennweite, so werden die von einem Punkt des Gegenstandes ausgehenden Strahlen nach der Spiegelung so divergiren, als ob sie von einem Punkt hinter dem Spiegel kämen. a ist der Divergenzpunkt der von A ausgehenden, b ist der Divergenzpunkt der von B ausgehenden Strahlen, ab ist also das aufrechte vergrößerte Bild des Gegenstandes AB.

Zwischen den Bildern, welche entstehen, wenn der Gegenstand weiter vom Hohlspiegel entfernt ist als der Brennpunkt, wie in Fig. 18, und den Bildern solcher Gegenstände, welche sich innerhalb der Brennweite befinden, wie bei Fig. 20, besteht ein wesentlicher Unterschied. Im erstern Fall werden die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen im entsprechenden Punkte wirklich wieder vereinigt, sie werden hier gesammelt, weshalb man solche Bilder auch Sammelbilder nennt; im letztern Fall dagegen scheinen blos die reflectirten Strahlen von einem Punkt hinter dem Spiegel herzukommen, ohne daß sie in diesem Punkte wirklich vereinigt waren. Man kann deshalb diese Bilder, die man gewöhnlich als virtuelle Bilder bezeichnet, auch Scheinbilder nennen. Auch die Bilder ebener Spiegel gehören zu den Scheinbildern.

Wenn ein Bündel Strahlen parallel mit der Axe auf einen Convexspiegel fällt, so werden sie, wie dies Fig. 21 erläutert, so reflectirt, als ob sie von dem Hauptzerstreuungspunkte F kämen, der in der Mitte zwischen dem Spiegel und dem Krümmungsmittelpunkte C liegt.

Von irgendeinem vor einem Convexspiegel befindlichen Gegenstand AB gibt derselbe, wie durch Fig. 22 erläutert wird, stets ein aufrechtes verkleinertes Scheinbild ab, wie nah oder fern vom Spiegel sich auch der Gegenstand AB befinden mag.

Die Sammelbilder kann man auf zweierlei Weise beobachten, entweder 1) indem man die vom Vereinigungspunkt aus wieder divergirenden Strahlen ebenso direct ins Auge gelangen läßt, als ob sie von einem an der Stelle des Bildes befindlichen Gegenstande herkämen, oder 2) indem man das Sammelbild auf einem Papierschirm oder auf einer mattgeschliffenen Glastafel auffängt und es dadurch von allen Seiten her sichtbar macht.

Der auf einem Papierschirm aufgefangenen Hohlspiegelbilder kann man sich bedienen, um mittels der optischen Bank auf die durch Fig. 19 erläuterte Weise darzuthun, wie sich das Bild vom Spiegel entfernt, wenn sich ihm der Gegenstand nähert.

III. Brechung des Lichts (Dioptrik).

Wenn ein Lichtstrahl aus einem Mittel in ein anderes übergeht, z. B. aus Luft in Wasser, so ist dieser Uebergang stets mit einer Richtungsänderung verbunden, welche man als Brechung oder Refraction des Lichts bezeichnet.

Betrachten wir z. B. die Richtungsänderung, welche ein Lichtstrahl beim Uebergang von Luft in Wasser erleidet. Ein Lichtstrahl ln, Fig. 23, welcher in n die Grenzfläche zwischen Luft und Wasser trifft und mit dem in n errichteten Einfallsloth einen Winkel i macht, wird sich nach dem Uebergang in Wasser nach der geraden Linie ns bewegen, welche mit dem Einfallsloth einen Winkel r macht, der kleiner ist als i.

Zwischen dem Einfallswinkel i und dem Brechungswinkel r findet keine einfache Beziehung statt. Denken wir uns aber um den Punkt n einen Kreis gezogen, und von den Punkten a und b, in welchen derselbe den einfallenden und den gebrochenen Strahl schneidet, die Perpendikel ad und bf auf das Einfallsloth gefällt, so verhält sich ad zu bf stets wie 4 zu 3.

Beim Uebergang aus Luft in Glas verfolgt der gebrochene Strahl eine solche Richtung, daß sich die beiden Perpendikel stets verhalten wie 3 zu 2.

Das Verhältniß dieser beiden Perpendikel nennt man den Brechungsexponenten der Substanz. So ist z. B. $\frac{4}{3} = 1{,}333$ der Brechungsexponent des Wassers, $\frac{3}{2} = 1{,}5$ aber (nahezu) der Brechungsexponent des bleifreien Glases.

Der Brechungsexponent des bleihaltigen Flintglases ist 1,66, der des Anisöls ist 1,81. Je größer der Brechungsexponent einer Substanz ist, desto stärker lenkt sie die auf sie fallenden Lichtstrahlen ab.

Um das Brechungsgesetz zu erläutern, kann man sich des Apparates Fig. 24 bedienen, eines halbkreisförmigen Gefäßes, dessen gekrümmte Wand von der Mitte aus nach beiden Seiten hin in Grade getheilt ist. Vorn ist das Gefäß durch eine ebene, undurchsichtige Wand begrenzt, welche in der Mitte mit einer strohhalmbreiten, durch eine Glasplatte verschlossenen Spalte versehen ist. Läßt man, nachdem das Gefäß bis zur Hälfte seiner Höhe mit Wasser gefüllt ist, ein Bündel Lichtstrahlen in schräger Richtung gegen die Fläche ab durch den Spalt eintreten, so wird der obere Theil desselben in Luft in unveränderter Richtung fortgehen

während der untere Theil desselben, in das Wasser eintretend, gebrochen wird. An der Gradeintheilung der Rückwand kann man aber die Größe des Einfalls- und des Brechungswinkels ablesen.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem Mittel A in B und aus B wieder in A übergeht (etwa aus Luft in Glas und dann wieder aus Glas in Luft), so ist der austretende Strahl n'l', Fig. 25, dem eintretenden ln parallel, wenn die beiden Grenzflächen von B parallel sind. Ist dies aber nicht der Fall, so weicht die Richtung n'l', Fig. 26, des austretenden Strahls von der des eintretenden ab, und zwar um so mehr, je größer der Winkel ist, den die Austrittsfläche CD mit der Eintrittsfläche AB macht, und je größer der Brechungsexponent der zwischen den Grenzflächen AB und CD befindlichen Substanz ist.

Als Prisma bezeichnet man in der Optik ein von zwei gegeneinander geneigten ebenen Flächen begrenztes, durchsichtiges Mittel. Die Kante des Prismas ist die gerade Linie, in welcher sich die beiden Grenzflächen schneiden oder schneiden würden, wenn sie hinreichend verlängert wären. Die Basis eines Prismas ist die der brechenden Kante gegenüberliegende Begrenzungsfläche des Prismas, deren Lage bei dem Gang der Strahlen durch das Prisma gar nicht in Betracht kommt. Der brechende Winkel ist der Winkel, welchen die beiden brechenden Flächen des Prismas miteinander machen. Hauptschnitt nennt man den Durchschnitt eines Prismas mit einer auf der brechenden Kante rechtwinkeligen Ebene. Sind abcd und abgf die brechenden Flächen des Glasprismas Fig. 30, so ist ab die brechende Kante, cdfg die Basis und cbg oder daf der Hauptschnitt des Prismas. Bei den meisten Prismen beträgt der brechende Winkel 60, oft auch nur 45 Grad. Um ein Prisma leicht in beliebige Stellungen bringen zu können, wird dasselbe auf ein messingenes Stativ befestigt, wie es Fig. 31 zeigt.

Wenn von irgendeinem Gegenstande a, Fig. 27, etwa von einer brennenden Kerze, ein Lichtstrahl in der Richtung ad auf ein Prisma fällt und in der Richtung co austritt, so wird ein in o befindliches Auge die Flamme a nach der Richtung oa' sehen, der Gegenstand erscheint also nach der Seite der brechenden Kante hin abgelenkt. Das abgelenkte Bild erscheint auf eine eigenthümliche, später näher zu besprechende Weise gefärbt.

Wenn ein Sonnenstrahl durch eine kleine Oeffnung in der Richtung bd Fig. 28 in ein dunkles Zimmer tritt und man ihn durch ein Prisma auffängt, so beobachtet man eine Ablenkung und eine Färbung; statt des weißen Sonnenbildchens d, welches auf einer der Oeffnung b gegenüberstehenden weißen Wand entstehen würde, wenn das Prisma nicht vorhanden wäre, werden die einfallenden Sonnenstrahlen nun so abgelenkt, daß bei rv ein in die Länge gezogenes, gefärbtes Sonnenbild, das Spectrum entsteht, welches später noch ausführlicher besprochen werden soll.

Die Ablenkung, welche ein Prisma hervorbringt, ist abhängig von der Richtung der einfallenden Strahlen, sie ist am kleinsten, wenn die Strahlen symmetrisch durchgehen, wie lnop, Fig. 29, der auf seinem Wege no durch das Prisma gleiche Winkel mit der Eintritts- und mit der Austrittsfläche macht.

Von großer Wichtigkeit für die Construction der meisten optischen Instrumente ist die Brechung des Lichts in Linsen, mit welchem Namen man in der Optik einen jeden durchsichtigen Körper bezeichnet, dessen Grenzflächen Stücke von Kugeloberflächen sind. Meistens werden die Linsen aus Glas verfertigt. Man unterscheidet zwei Hauptklassen von Linsen, nämlich 1) Convex- oder Sammellinsen, und 2) Concav-, Hohl- oder Zerstreuungslinsen.

Fig. 32 stellt den Durchschnitt der drei verschiedenen Formen der Sammellinsen dar, nämlich Nr. 1 den einer biconvexen, Nr. 2 den einer planconvexen und Nr. 3 den einer concavconvexen Sammellinse. Diese drei Formen der Sammellinsen haben das Gemeinschaftliche, daß sie in der Mitte dicker sind als am Rande, während die Zerstreuungslinsen, Fig. 33 (Nr. 1 biconcav, Nr. 2 planconcav, Nr. 3 convexconcav), in der Mitte dünner sind als am Rande.

Die Axe einer Linse ist die gerade Linie, welche die Krümmungsmittelpunkte der beiden sphärischen Grenzflächen miteinander verbindet, oder bei Linsen, deren eine Grenzfläche eben ist, das Perpendikel, welches man von dem Krümmungsmittelpunkte der gewölbten Fläche auf diese Ebene fällen kann.

Bei den Linsen wiederholen sich im wesentlichen dieselben Erscheinungen, die wir bei den gekrümmten Spiegeln bereits kennen lernten, und zwar entsprechen die Convexlinsen den Hohlspiegeln, die Hohllinsen den Convexspiegeln.

Alle Strahlen, welche parallel mit der Axe auf eine Convexlinse fallen, Fig. 34, werden durch dieselbe so gebrochen, daß sie jenseit der Linse die Axe in einem und demselben Punkte F schneiden (vorausgesetzt, daß die Krümmung der Linse von der Mitte bis zum Rande nur unbedeutend ist), welcher der Brennpunkt oder der Focus der Linse genannt wird. Die Lage dieses Brennpunkts (dessen Abstand von der Linse die Brennweite genannt wird) hängt von dem Krümmungshalbmesser der sphärischen Flächen und von dem Brechungsexponenten der Linsensubstanz ab. Für eine aus bleifreiem Glase (Crownglas) verfertigte gleichgewölbte, biconvexe Linse fällt der Brennpunkt ungefähr mit dem Krümmungsmittelpunkt der einen Fläche zusammen.

Die parallel mit der Axe auf eine Linse fallenden Strahlen kann man, wie schon bemerkt, als von einem auf der Axe liegenden, aber unendlich weit entfernten leuchtenden Punkte herkommend, betrachten. Rückt der leuchtende Punkt auf der Axe der Linse näher, so entfernt sich der Vereinigungspunkt auf der andern Seite von derselben. Befindet sich der leuchtende Punkt in S, Fig. 35, so ist der Vereinigungspunkt in R. Rückt der leuchtende Punkt S bis zur doppelten Brennweite vor, Fig. 36, so entfernt sich der Sammelpunkt R gleichfalls bis zur doppelten Brennweite. Nähert sich der leuchtende Punkt noch mehr, liegt er zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite, so liegt der Vereinigungspunkt weiter entfernt als die doppelte Brennweite, und zwar um so mehr, je näher der leuchtende Punkt gerückt ist; so ist z. B. S, Fig. 35, der Vereinigungspunkt für die von R aus auf die Linse fallenden Strahlen. Befindet sich endlich der leuchtende Punkt im Brennpunkte F, Fig. 34, selbst, so liegt der Vereinigungspunkt in unendlicher Entfernung oder mit andern Worten, ein Strahlenbündel, welches vom Brennpunkt aus divergirend auf eine Linse fällt, tritt als ein mit der Axe paralleles Strahlenbündel aus.

Befindet sich ein leuchtender Punkt auf der Axe noch innerhalb der Brennweite, wie z. B. der Punkt T, Fig. 37, so kann die Linse das von T aus auf sie fallende Strahlenbündel nicht mehr convergent, sondern nur weniger divergent machen, nach dem Durchgang durch die Linse divergiren die ursprünglich von T ausgehenden Strahlen so, als ob sie von einem weiter entfernten Punkte V herkämen.

Denken wir uns von einem Punkte A, Fig. 38, außerhalb der Hauptaxe eine gerade Linie durch den Mittelpunkt o der Linse gezogen, so ist dies eine Ne-

benaxe. Alle von einem Punkte A der Nebenaxe aus auf eine Sammellinse fallenden Strahlen werden in einem Punkte a derselben Nebenaxe jenseit der Linse wieder geeinigt. Für die conjugirten Punkte A und a einer Nebenaxe bestehen in Beziehung auf ihre Abstände von der Linse dieselben Gesetze, wie für die Hauptaxe.

Daraus erklärt sich nun, daß eine Sammellinse von einem entfernten Gegenstande AB, Fig. 38, ein verkehrtes verkleinertes Bild ab entwirft. Von der Mitte der Linse aus gesehen, erscheinen Bild und Gegenstand unter gleichem Winkel. Die Größe des Gegenstandes verhält sich also zur Größe des Bildes wie der Abstand des Gegenstandes zum Abstand des Bildes.

Wenn der Gegenstand sehr weit entfernt ist, so erscheint das Bild ganz nahe beim Brennpunkt. Dem Gegenstand AB entspricht das verkleinerte Bild ab. Je näher der Gegenstand rückt, desto mehr entfernt sich das Bild, wobei es dann auch stets größer wird. Befindet sich der Gegenstand in der doppelten Brennweite, so ist auch das Bild um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, Bild und Gegenstand sind gleich groß. Liegt der Gegenstand der Linse näher als die doppelte Brennweite, so ist das Bild weiter von derselben entfernt, das Bild ist alsdann größer als der Gegenstand. Dem Gegenstand ab entspricht das verkehrte vergrößerte Bild AB.

Um die Beziehungen zwischen dem Gegenstand und seinem durch eine Sammellinse entworfenen Bilde durch den Versuch nachzuweisen, kann man sich der optischen Bank bedienen, wie es Fig. 15, Taf. 5, erläutert.

Wenn der Gegenstand sich noch innerhalb der Brennweite der Linse befindet, wie AB, Fig. 39, Taf. 4, so kann kein Sammelbild mehr entstehen, weil die von einem Punkte des Gegenstandes, etwa von A ausgehenden und auf die Linse fallenden Strahlen nach dem Durchgang durch dieselbe so divergiren, als ob sie von einem auf derselben Nebenaxe liegenden, aber weiter von der Linse entfernten Punkte a kämen. So entsteht denn von dem innerhalb der Brennweite befindlichen Gegenstand AB ein vergrößertes aufrechtes Scheinbild ab. Dieses Scheinbild betrachtet man, wenn man eine Sammellinse als Lupe benutzt.

Wie die Sammelbilder der Hohlspiegel, so lassen sich auch die Sammelbilder der Converlinsen auf Schirmen auffangen. Von den auf Schirmen aufgefangenen Bildern der Sammellinsen macht man Gebrauch bei der Camera-obscura, der Zauberlaterne, sowie bei dem Sonnen- und Gasmikroskop.

Die Camera-obscura besteht im wesentlichen aus einer Sammellinse von etwas großer Brennweite, durch welche das Bild mehr oder minder entfernter Gegenstände entworfen wird. Damit dieses Bild möglichst lichtstark erscheint, muß von dem dasselbe auffangenden Schirme alles fremde Licht möglichst abgehalten sein; daher der Name. Fig. 40 stellt die Camera-obscura in der Form dar, wie sie gegenwärtig zum Photographiren verwendet wird. Auf der Vorderseite des Kastens a ist eine messingene Hülse h befestigt, in welcher sich eine zweite i mittels des Triebes r aus- und einschieben läßt. Die Hülse i enthält die Linse, welche ihre Bilder auf der ihr gegenüberstehenden mattgeschliffenen Glastafel g entwirft.

Diese Glastafel g ist in einem Schieber befestigt, welcher die Rückwand des in den Kasten a hineinpassenden, nach vorn hin offenen Kastens b bildet. Unsere Figur zeigt den Schieber mit der Glastafel g etwas in die Höhe gezogen. Je näher der Gegenstand rückt, desto mehr muß man den Kasten b aus a herausziehen. Die feinere Einstellung geschieht durch Verschiebung der Linse mittels des Triebes r.

Um von der Glastafel g möglichst alles fremde Licht abzuhalten, wird über den hintern Theil des Apparates ein schwarzes Tuch gehängt, unter welches der Beschauer des Bildes den Kopf steckt.

Die Einrichtung der Laterna-magica (Zauberlaterne) wird durch Fig. 41 erläutert. Der mit irgendwelchen Figuren bemalte Glasschieber wird bei ab eingeschoben und durch das Licht einer in einem möglichst verschlossenen Blechkasten K befindlichen Lampe L erleuchtet. Um die Strahlen auf dem Gemälde möglichst zu concentriren, besteht die Rückwand des Kastens K aus einem metallischen, wohlpolirten Hohlspiegel H, zu weiterer Concentrirung der Lichtstrahlen auf dem bei ab eingeschobenen Glasgemälde dient dann noch die Linse m. Von dem gemalten Gegenstand bei ab wird nun durch das Linsensystem nn und oo, welche zusammen wie eine einzige stärkere Linse wirken, auf einem weißen Schirm ein verkehrtes vergrößertes Bild entworfen.

Um sehr bedeutende Vergrößerungen zu erzielen, muß man zunächst Linsen oder Linsensysteme von geringerer Brennweite wählen, damit das Object der Linse recht nahe gebracht werden kann, dann aber für eine sehr intensive Beleuchtung des Gegenstandes sorgen, wie dies beim Sonnenmikroskop, Fig. 11, der Fall ist. In die Oeffnung, durch welche der Spiegel M in horizontaler Richtung ein Bündel Sonnenstrahlen in das verfinsterte Zimmer wirft, ist ein Rohr eingeschraubt, welches an dem dem Spiegel zugewendeten Ende durch eine Sammellinse geschlossen ist. Ungefähr im Brennpunkt dieser Linse, und deshalb also sehr hell erleuchtet, befindet sich der auf einem entsprechenden Schieber o zwischen zwei Glasplatten eingeschlossene Gegenstand, von welchem dann das in dem kleinen Rohre L enthaltene Linsensystem von kurzer Brennweite auf einem weißen Schirm ein vergrößertes Bild entwirft.

Ganz nach denselben Principien sind auch das Gasmikroskop und das elektrische Mikroskop construirt, nur wird bei diesen der Gegenstand entweder durch das Drummond'sche Kalklicht oder durch das elektrische Kohlenlicht erleuchtet.

Die Wirkung der Hohllinsen ist ganz derjenigen der Converspiegel analog. Die Strahlen, welche, von einem auf der Axe liegenden, unendlich weit entfernten Punkte kommend, als ein mit der Axe paralleles Strahlenbündel auf die Hohllinse fallen, divergiren nach dem Durchgang durch die Linse so, als ob sie von dem Hauptzerstreuungspunkte F, Fig. 42, kämen. Rückt der leuchtende Punkt näher, so rückt auch der Zerstreuungspunkt näher an das Glas heran; die von A, Fig. 43, divergirend auf die Hohllinse fallenden Strahlen werden durch dieselben noch divergenter gemacht, sie divergiren nach dem Durchgang durch die Linse so, als ob sie von B kämen. Daraus folgt dann auch, daß eine Hohllinse von jedem Gegenstande AB, Fig. 44, ein aufrechtes verkleinertes, innerhalb der Zerstreuungsweite liegendes Scheinbild, also nie ein Sammelbild liefert.

IV. Farbenlehre.

Die Farben des bereits obenerwähnten Spectrums rv, Fig. 28, Taf. 4, sind, wie es in Fig. 1, Taf. 5, dargestellt ist, der Reihe nach roth, orange, gelb, grün, hellblau, dunkelblau, violett. Das weiße Licht wird also durch die Brechung in eine Reihe verschiedenfarbiger Strahlen zerlegt, von welchen die rothen am wenigsten, die violetten am meisten abgelenkt werden.

Diese Verschiedenheit der Ablenkung rührt nur daher, daß der Brechungsexponent einer und derselben Substanz für die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen verschieden ist. So ist z. B. der Brechungsexponent der mittlern Strahlen des

	roth	gelb	grün	blau	violett	z
im Wasser	1,331	1,334	1,336	1,338	1,344	0,013
Crownglas	1,526	1,530	1,533	1,536	1,547	0,021
Flintglas	1,628	1,635	1,642	1,648	1,671	0,043
Schwefelkohlenstoff	1,618	1,631	1,644	1,655	1,702	0,084

Je größer die Differenz z zwischen dem Brechungsexponenten der violetten und rothen Strahlen für eine bestimmte Substanz ist, desto stärker zerstreuend wirkt sie, desto breiter ist also unter sonst gleichen Umständen das Spectrum, welches sie gibt. Stellt man also Prismen von Wasser, Crownglas, Flintglas und Schwefelkohlenstoff her, welche bei gehöriger Aufstellung die rothen Strahlen gleichstark ablenken, so ist das Spectrum für Wasser ganz kurz (d. h. die Entfernung vom rothen Ende bis zum violetten ist klein), für Crownglas ist dasselbe fast doppelt, für Flintglas fast 4 mal, für Schwefelkohlenstoff fast 8 mal so groß.

Da das weiße Licht in verschiedene Farben zerlegbar ist, so muß sich aus den Farben des Spectrums auch wieder weiß zusammensetzen lassen. Annähernd läßt sich dies mit der Newton'schen Farbenscheibe, Fig. 16, Taf. 5, zeigen; eine kreisförmige Scheibe, die ungefähr in dem Verhältniß, wie es die Figur zeigt, in sieben Sectoren getheilt ist, welche mit Farben angestrichen (oder mit farbigen Papieren beklebt) sind, welche den prismatischen Farben möglichst nahe kommen. Bei rascher Rotation um ihre Axe erscheint die Scheibe weiß oder vielmehr graulichweiß. Daß man kein ganz reines Weiß erhält, rührt daher, daß man nicht mit prismatischen Farben, sondern mit Pigmenten experimentirt.

Weit schöner läßt sich die Zusammensetzung des weißen Lichts aus den Farben des Spectrums durch folgenden, gleichfalls von Newton herrührenden Versuch darthun: Man erzeuge ein Spectrum mittels eines Prismas und fange dasselbe mittels einer Linse auf, wie es Fig. 17, Taf. 5, zeigt. Stellt man dann einen Papierschirm so auf, daß die von einem Punkte des Prismas aus divergirenden Strahlen wieder in einem Punkte vereinigt werden, so erblickt man auf dem Schirme ein vollkommen weißes Bild; durch die Vereinigung der divergirend auf die Linse fallenden farbigen Strahlen wird also wieder Weiß erzeugt.

Aus der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen geht hervor, daß eine Linse eigentlich für jede andere Farbenart auch einen andern Brennpunkt habe, und zwar liegt der Brennpunkt der rothen Strahlen weiter von der Linse weg als der Brennpunkt der violetten. Dieses Auseinanderfallen der Brennpunkte verschiedenfarbiger Strahlen wird als chromatische Aberration bezeichnet.

Die chromatische Aberration verursacht aber eine Unreinheit der Linsenbilder, welche namentlich beim Mikroskop und beim Fernrohr störend wird, und welcher nur durch achromatische Linsen abgeholfen werden kann. Achromatische Linsen werden hergestellt durch die Combination einer Sammellinse A von Crownglas, Fig. 18, mit einer Hohllinse B von Flintglas, deren Zerstreuungsweite ungefähr doppelt so groß ist als die Brennweite von A.

Wenn man das Sonnenspectrum in voller Reinheit darstellt, so beobachtet man in demselben dunkle, zu seiner Längsrichtung rechtwinkelige Streifen, welche man nach ihrem Entdecker Fraunhofer'sche Linien nennt, und welche stets genau an derselben Stelle des Spectrums erscheinen. Am zahlreichsten sind diese bald breitern bald schmälern, bald schärfern bald verwaschenen Linien im blau und violett. Fraunhofer bezeichnet sieben der charakteristischsten unter diesen Linien, welche auch in dem Spectrum, Fig. 1, Taf. 5, dargestellt sind, mit A, B, C, D, E, F, G und H. Im Roth liegen A, B und C, im Gelb liegt D, im Grün E, im Blau F, im Indigo G und im Violett die beiden breiten dunkeln Linien H. Diese Linien zeigen sich am besten bei subjectiver Beobachtung des Spectrums durch ein Fernrohr. Durch einen feinen verticalen Spalt läßt man in horizontaler Richtung ein Bündel Sonnenstrahlen in das dunkle Zimmer eintreten und in einer Entfernung von 10 bis 15 Schritten auf ein Prisma s, Fig. 19, fallen. Die aus dem Prisma austretenden Strahlen beobachtet man dann durch ein Fernrohr.

Was nun die natürlichen Farben der Körper betrifft, so sind dieselben nie reine prismatische Farben, sondern stets aus verschiedenen Spectralfarben zusammengesetzt. Am leichtesten läßt sich dies mit durchsichtigen farbigen Körpern, z. B. mit farbigen Gläsern oder mit farbigen Flüssigkeiten zeigen. Man erzeuge ein Spectrum auf einem weißen Papierschirm und halte dann das farbige Glas vor die Oeffnung, durch welche die Sonnenstrahlen in das dunkle Zimmer eintreten, so wird sofort ein Theil des Spectrums verschwinden. Ein rothes Glas z. B. läßt alle Strahlen zwischen den Fraunhofer'schen Linien D und A durch, wie Fig. 2 zeigt, während es alle andern Farben verschluckt. Eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak absorbirt dagegen alle Strahlen vom mittlern Grün bis zum äußersten Roth, dagegen läßt sie die violetten, dunkel- und hellblauen und einen Theil der grünen durch, wie Fig. 3 zeigt.

In gleicher Weise ist das Absorptionsspectrum einer Lösung von Berlinerblau in Fig. 4, des durch Kobalt blau gefärbten Glases in Fig. 5, einer grünen Lösung von Chlorkupfer in Fig. 6, einer gelben Lösung von saurem chromsaurem Kali in Fig. 7 dargestellt.

Sehr interessante und wichtige Erscheinungen bietet die prismatische Zerlegung farbiger Flammen. Die Weingeistflamme und auch die Flamme des Leuchtgases, wenn es mit der genügenden Menge von Luft gemengt ist, wie dies beim Bunsen'schen Brenner der Fall ist, sind an sich schwachleuchtend und farblos, sie werden aber starkleuchtend und gefärbt, wenn man gewisse Substanzen in die Flamme bringt. Bringt man etwas Kochsalz oder ein anderes Natronsalz in die Flamme, so wird sie intensiv gelb gefärbt. Bringt man einen schmalen Spalt vor diese gelbe Flamme und betrachtet man diesen Spalt durch ein Prisma, so reducirt sich das ganze Spectrum auf eine einzige helle, scharfe gelbe Linie, welche in dem Spectralstreifen Fig. 8 dargestellt ist. Derselbe Spectralstreifen, Fig. 8, zeigt aber außer der gelben Natriumlinie auch noch die rothe Linie, auf welche sich das Spectrum reducirt, wenn die Flamme durch Lithium gefärbt ist, sowie auch die grüne Linie der durch Thallium, und die blaue der durch Indium gefärbten Flamme. Fig. 9 zeigt das Spectrum der durch Strontium roth gefärbten Flamme. In gleichem Sinne zeigt Fig. 10 das Spectrum einer durch ein Kalisalz, und Fig. 11 das Spectrum einer durch ein Barytsalz gefärbten Flamme.

Fig. 1, Taf. 6, stellt einen Spectralapparat dar, wie man ihn zur genauen Beobachtung der eben besprochenen Erscheinungen anwendet. A ist ein Metallrohr, dessen hinteres Ende bis auf eine feine Spalte geschlossen ist. Die durch die Spalte in das Rohr A

eintretenden Strahlen werden durch eine Linse, welche das vordere Ende des Rohrs A verschließt, parallel gemacht und treffen so auf das Prisma P. Das durch dies Prisma erzeugte Spectrum wird durch das Fernrohr B beobachtet.

Das Rohr C enthält bei S eine kleine, auf Glas photographirte Scala mit weißen Theilstrichen auf schwarzem Grunde. Wenn diese Scala durch eine Flamme erleuchtet ist, so sieht man durch das Fernrohr B das von der Vorderfläche des Prismas P erzeugte Spiegelbild der Scala und somit erscheinen die hellen Linien des zu beobachtenden Spectrums auf diese Scala projicirt.

Läßt man den elektrischen Funken zwischen Spitzen von Eisen überschlagen, so zeigt die prismatische Zerlegung dieses Funkens ein Spectrum, welches aus mehr als 100 hellen, scharfen Linien verschiedener Farben besteht. Ein anderes System heller Linien zeigt der zwischen Kupfer überspringende Funken. Kurz jedem Metall kommt ein eigenthümliches System heller Spectrallinien zu.

Nun hat man gefunden, daß die Natriumlinie, Fig. 8, Taf. 5, genau mit der Fraunhofer'schen Linie D zusammentrifft, daß jeder hellen Linie des Eisenspectrums eine dunkle Fraunhofer'sche Linie entspricht, und daraus den Schluß gezogen, daß sowol Natrium als Eisen in der Sonnenatmosphäre enthalten sind. Dasselbe gilt für alle Metalle, deren helle Spectrallinien genau mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen.

Die meisten farbigen Körper können nur solche Farbenstrahlen zerstreuen, welche schon im auffallenden Licht enthalten sind, wie man dies sehr schön mit farbigen Papieren zeigen kann. Rothes Papier erscheint nur dann roth, wenn das auffallende Licht rothe Strahlen enthält. Es zeigt keine Spur von rother Färbung, wenn es von einer durch Kochsalz gefärbten Weingeistflamme beleuchtet wird.

Manche sonst durchsichtige Körper haben die merkwürdige Eigenschaft, unter dem Einfluß gewisser Lichtstrahlen selbstleuchtend zu werden, und Licht von einer Farbe zu zerstreuen, welche von der Farbe des auffallenden Lichts verschieden ist. Solche Körper nennt man **fluorescirende Körper**. Sie zeigen, dem weißen Lichte ausgesetzt, einen eigenthümlichen Schiller, welcher sich am schönsten beobachten läßt, wenn man mittels einer Sammellinse einen Strahlenkegel auf dieselben fallen läßt, wie Fig. 20, Taf. 5, erläutert. Der so concentrirte Strahlenkegel bildet einen leuchtenden Büschel, welcher lichtblau in einer Chininlösung und in Petroleum, grün in einem weingeistigen Extract von Stechapfelsamen und in Glas, welches durch Uranoxyd gefärbt ist; roth in einer ätherischen Lösung von Blattgrün erscheint.

Die Farbe des Büschels bleibt ungeändert, wenn man die auf die Linse fallenden Strahlen erst durch ein blaues Glas gehen läßt. Die blauen Strahlen können also im Uranglas den grünen Büschel erzeugen, während dies die grünen, gelben und rothen nicht vermögen.

Am schönsten zeigt sich das Verhalten der fluorescirenden Substanzen, wenn man das Spectrum auf dieselben projicirt. Fängt man z. B. auf einer Platte von Uranglas das Spectrum auf, so gehen die rothen, gelben und grünen Strahlen durch, wie durch farbloses Glas; da aber, wo die hellblauen, dunkelblauen und violetten Strahlen auffallen, zerstreut das Uranglas ein grünes Licht, man sieht hier einen grünen Spectralstreifen, welcher ungefähr an der Grenze zwischen grün und blau des Spectrums beginnt und sich noch weit über das violette Ende des Spectrums hinauserstreckt. Auf diesem Spectrum zeigen sich die Fraunhofer'schen Linien sehr schön, und man beobachtet sie auch noch in dem ultravioletten Theil des Spectrums. Es werden also die blauen und violetten Strahlen, sowie noch brechbarere, welche unmittelbar gar nicht sichtbar sind, durch das Uranglas in grünes Licht verwandelt.

Es sind vorzugsweise die brechbarern, also die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen, welche die Erscheinungen der Fluorescenz erzeugen.

V. Die Photographie.

Das Licht ist im Stande, **chemische Wirkungen** hervorzubringen; so wird z. B. das weiße Chlorsilber durch den Einfluß der Lichtstrahlen geschwärzt, was nur eine Folge seiner Zersetzung ist, indem das Chlor entweicht und das Silber, in feinvertheiltem Zustande schwarz erscheinend, zurückbleibt. Auf solchen chemischen Wirkungen des Lichts beruht die **Photographie**.

An die Stelle, an welcher das scharfe Bild irgendeines Gegenstandes in der Camera-obscura erscheint, wird ein Schieber g, Fig. 40, Taf. 4, eingeschoben, auf welchem eine mit einer durch **Jodsilber** imprägnirten Collodiumschicht überzogene Glasplatte befestigt ist. Das Jodsilber ist in gleicher Weise empfindlich gegen das Licht wie das Chlorsilber. Nachdem das Licht eine Zeit lang auf die Collodiumschicht eingewirkt hat, ist die chemische Zersetzung des Jodsilbers in derselben gleichsam eingeleitet, und wenn nun eine reducirende Flüssigkeit, d. h. eine solche darauf gegossen wird, welche große Verwandtschaft zum Jod hat, so wird durch dieselbe das Jodsilber an den Stellen zersetzt, auf welche das Licht eingewirkt hatte.

An den hellsten Partien des Bildes wird das Jodsilber ganz zersetzt, sie werden also ganz schwarz; an den halbdunkeln Partien tritt nur eine theilweise Schwärzung ein, an den ganz dunkeln Partien des Bildes aber bleibt das Jodsilber ganz unzersetzt. Man hat also nun auf der Glasplatte ein **negatives** Bild, d. h. ein Bild, in welchem die hellen Partien des Gegenstandes dunkel, die Schattenpartien des Gegenstandes hell erscheinen.

Das so hergestellte negative Bild würde aber nur von kurzer Dauer sein, weil an allen Stellen, wo das Licht gar nicht oder nur schwach eingewirkt hat, noch viel unzersetztes Jodsilber vorhanden ist, welches unter dem Einfluß des Lichts nach und nach auch noch zersetzt wird, sodaß nach einiger Zeit die ganze Collodiumschicht geschwärzt sein würde.

Um dies zu verhindern, muß man sogleich nach Herstellung des negativen Bildes dasselbe dadurch **fixiren**, daß man alles noch unzersetzte Jodsilber entfernt, was dadurch geschieht, daß man die Platte mit einer Flüssigkeit übergießt, welche das Jodsilber auflöst, wie z. B. eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron in Wasser.

Nehmen wir z. B. an, der zu photographirende Gegenstand sei ein großer, auf eine weiße Wand gemalter Buchstabe, so würde man nach dem eben besprochenen Verfahren von demselben das verkehrte negative Bild, Fig. 21, Taf. 5, auf der Glasplatte erhalten.

Von diesem negativen Glasbild muß nun aber eine **positive** Copie gemacht werden, was dadurch geschieht, daß man auf die Collodiumseite des negativen Bildes ein mit **Chlorsilber** imprägnirtes Papier legt. Um dasselbe sanft andrücken zu können, bedient man sich des **Copierrahmens**, Fig. 2, Taf. 6. Auf die Glasplatte des Copierrahmens kommt zunächst das

negative Glasbild, darauf das Chlorsilberpapier, darauf eine Lage von Tuch oder Filz und darauf endlich ein Bret, welches mittels Schrauben angedrückt werden kann. Wird nun die Glasseite des Copierrahmens gegen die Sonne gekehrt, so dringen ihre Strahlen durch die ungeschwärzten Partien des negativen Bildes auf das Chlorsilberpapier, welches also gerade da geschwärzt wird, wo die hellen Partien des negativen Bildes sind, während es da weiß bleibt, wo die dunkeln Stellen des negativen Bildes die Sonnenstrahlen von ihm abhalten. Die so erhaltene positive Copie, Fig. 22, muß aber auch durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron fixirt werden, denn sonst würde das Bild in kurzer Zeit ganz schwarz werden.

Die chemische Wirkungsfähigkeit der verschiedenfarbigen Strahlen ist sehr ungleich. Im allgemeinen wirken die weniger brechbaren Strahlen, also die rothen, gelben und grünen, am wenigsten; während die brechbarern am stärksten wirken. Dieselben Strahlen, welche die Erscheinung der Fluorescenz hervorrufen, bringen auch die stärkste chemische Wirkung hervor. Wenn man das Spectrum auf einer photographisch präparirten Collodiumschicht auffängt, so findet man, daß die rothen, gelben, grünen und ein Theil der blauen Strahlen unwirksam sind, denn man erhält ein negatives Bild des Spectrums, welches erst zwischen den Frauenhofer'schen Linien F und G beginnt und noch weit über H hinausgeht. Also auch die für sich unsichtbaren ultravioletten Strahlen bringen noch chemische Wirkungen hervor.

In photographischen Bildern werden deshalb auch alle rothen, gelben und grünen Gegenstände viel zu dunkel erscheinen, was die malerische Haltung derselben oft wesentlich beeinträchtigt.

VI. Das Auge und die optischen Instrumente.

Das **Auge** des Menschen und der höhern Thiere ist, was seine optische Construction anlangt, eine Camera-obscura. Der ganze Augapfel, Fig. 23, Taf. 5, ist von einer festen harten Haut (tunica sclerotica) eingeschlossen, welche nur an der vorderſten Stelle bei a durchsichtig und hier auch etwas stärker gewölbt ist (**Hornhaut**). Hinter der Hornhaut befindet sich ein undurchsichtiger Schirm bb', die **Regenbogenhaut**, oder **Iris**, mit einer kreisförmigen Oeffnung ss' (die **Pupille**), durch welche allein die Lichtstrahlen in das Innere des Auges eindringen können. Dicht hinter der Pupille befindet sich die **Krystallinse** L. Der Zwischenraum zwischen der Linse und der Hornhaut ist mit einer wässerigen, der Zwischenraum zwischen der Linse und der Rückwand des Augapfels ist mit einer gallertartigen Flüssigkeit (**Glasfeuchtigkeit**) ausgefüllt.

Die Rückwand des Augapfels ist innen mit der **Netzhaut** (retina) überkleidet, welche eine Ausbreitung des **optischen Nervs** n ist. Auf dieser Netzhaut entsteht ein verkehrtes verkleinertes Bild der äußern Gegenstände, wie dies Fig. 45, Taf. 4, erläutert.

Daß wirklich ein solches Netzhautbildchen vorhanden ist, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man an dem Augapfel eines frisch geschlachteten Ochsen oben eine kleine Oeffnung bei a, Fig. 24, Taf. 5, einschneidet und durch diese nach der Netzhaut hinschaut, während ein beliebiger Gegenstand in passender Entfernung vor dem Auge aufgestellt ist.

Man kann nur dann einen Gegenstand deutlich sehen, wenn sein Bild auf der Netzhaut scharf ist.

Es gibt für jedes Auge eine kleinste Entfernung, über welche hinaus man ihm den Gegenstand nicht nähern darf, wenn man ihn noch deutlich sehen will. Es ist dies die Weite des deutlichen Sehens, welche bei Kurzsichtigen kleiner, bei Fernsichtigen größer ist als 10 Zoll.

Jeder auf der Netzhaut gemachte Lichteindruck wirkt noch eine Zeit lang nach; daher kommt es, daß eine im Kreis geschwungene glühende Kohle als ein ununterbrochener feuriger Ring erscheint, daß man die einzelnen Sectoren einer abwechselnd schwarz und weiß bemalten, rasch um ihren Mittelpunkt rotirenden Scheibe, Fig. 46, Taf. 4, nicht mehr unterscheiden kann.

Auf der Dauer des Lichteindrucks beruht auch die **Wunderscheibe** (stroboskopische Scheibe), Fig. 25, Taf. 5. An dem Umfang einer Scheibe von Pappendeckel sind in gleichen Abständen voneinander 12 gleiche Oeffnungen eingeschnitten. Innerhalb dieses Löcherrings ist nun eine Scheibe befestigt, auf welcher ein und derselbe Gegenstand in 12 aufeinanderfolgenden Stellungen abgebildet ist. Hält man nun die Vorderfläche der Scheibe vor einen Spiegel, so sieht man durch irgend eine, etwa die oberste Oeffnung das Spiegelbild der Figuren, und wenn nun beide Scheiben zusammen rasch um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe rotiren läßt, so scheint es dem durch die Löcher nach dem Spiegel schauenden Auge, als ob der auf der kleinen Scheibe gemalte Gegenstand sich bewege.

Wenn man das Auge eine Zeit lang auf einen lebhaft gefärbten, hellerleuchteten Gegenstand heftet, so wird die Empfindlichkeit der Netzhaut für diese Farbe abgestumpft, während sie für die übrigen Farben ungeändert bleibt. Wendet man das Auge, nachdem es eine Zeit lang den farbigen Gegenstand fixirt hatte, auf eine weiße Fläche, so sieht man ein Nachbild des Gegenstandes von complementärer Farbe. Man hefte z. B. das Auge eine Zeit lang auf 7 grellgrüne Scheibchen, welche auf ein weißes Papier aufgeklebt sind, wie Fig. 26, Taf. 5, und wende dann das Auge etwas seitwärts, so glaubt man nun 7 rothe Scheibchen auf weißem Grunde zu sehen (**subjective Farben**).

Das Sehen mit **zwei Augen** trägt wesentlich zur richtigern Schätzung der Entfernung näherer Gegenstände bei. Von einem nicht gar weit entfernten Gegenstande gibt uns das rechte Auge eine etwas andere Ansicht als das linke; durch die gegenseitige Ergänzung dieser beiden Bilder erhalten wir aber erst einen wahrhaft plastischen Eindruck des Gegenstandes, wie ihn ein einzelnes Bild nie geben kann. Damit hängt nun auch die überraschende Wirkung der Stereoskopbilder zusammen. Zwei zusammengehörige Stereoskopbilder sind nie ganz gleich, denn das eine stellt den Gegenstand dar, wie er dem rechten, das andere, wie er dem linken Auge erscheint. Das **Stereoskop**, Fig. 27, bewirkt nun, daß jedes Auge nur das für es bestimmte Bild und zwar in solcher Richtung sehen kann, daß sich die beiden Bilder zu einem Totaleindruck vereinigen. Fig. 28 stellt die beiden Gläser eines Stereoskops, welche den doppelten Zweck erfüllen, die Bilder etwas vergrößert zu zeigen und sie etwas gegeneinander zu rücken, im Durchschnitt dar.

Denkt man sich von den äußersten Punkten A und B, Fig. 45, Taf. 4, eines Gegenstandes gerade Linien nach den äußersten Punkten a und b seines Netzhautbildchens im Auge gezogen, so ist der Winkel, welchen diese beiden Visirlinien miteinander machen, der **Sehwinkel**, unter welchem der Gegenstand AB dem Auge erscheint. Die **scheinbare Größe** des Gegenstandes ist diesem Sehwinkel proportional. Ein größerer Gegenstand A'B', Fig. 29, Taf. 5, kann unter demselben Sehwinkel erscheinen, wie ein kleinerer AB, wenn er entsprechend weiter entfernt ist.

Die scheinbare Größe eines Gegenstandes wächst, wenn man ihn dem Auge nähert; um einen kleinen Gegenstand recht groß zu sehen, muß man ihn also dem Auge möglichst nähern. Da man aber den Gegenstand nicht innerhalb der Sehweite des Auges bringen darf, wenn man ihn noch deutlich sehen will, so ist dadurch einer fernern Annäherung und Vergrößerung des Sehwinkels eine Grenze gesetzt. Will man einen kleinen Gegenstand größer sehen, als es mit bloßem Auge möglich ist, so muß man ein einfaches oder zusammengesetztes Mikroskop anwenden.

Das einfache Mikroskop ist eine Sammellinse von kurzer Brennweite (Lupe), welche man dicht vor das Auge bringt, und dann den Gegenstand innerhalb der Brennweite der Linse hält, wie Fig. 39, Taf. 4, erläutert. Man hält den Gegenstand AB so, daß das aufrechte vergrößerte Scheinbild ab in der Weite des deutlichen Sehens ist. Für stärkere Vergrößerungen muß man das zusammengesetzte Mikroskop anwenden, dessen Einrichtung durch Fig. 30, Taf. 5, erläutert wird. Einer Sammellinse ab von kurzer Brennweite (dem Objectiv), wird der zu betrachtende Gegenstand rs (Object) fast bis zum Brennpunkt genähert. Die Linse ab entwirft dann von dem Objecte rs ein verkehrtes vergrößertes Sammelbild RS, und dieses Sammelbild RS wird dann durch das Ocular cd wie durch eine Lupe betrachtet, sodaß man es vergrößert in R'S' erblickt.

Die äußere Construction des Mikroskops wird durch Fig. 31 erläutert. Die Objectivlinse o ist an das untere Ende eines Metallrohrs angeschraubt, während das Ocular am obern Ende desselben bei n eingesteckt wird. Das Object wird auf das in der Mitte durchbrochene Tischlein pp gelegt und von unten her durch den Spiegel ss erleuchtet.

Die Construction des Fernrohrs beruht auf denselben Principien. Die verständlichste Form desselben ist das astronomische Fernrohr, dessen Wirkung durch die schematische Fig. 32, Taf. 5, erläutert wird. Von dem entfernten, zu betrachtenden Gegenstand AB wird durch eine Sammellinse o von größerer Brennweite (das Objectiv) ein verkehrtes verkleinertes Bild ab entworfen und dieses durch die Ocularlinse vv, welche auch hier als Lupe dient, betrachtet, sodaß man es vergrößert in a'b' erblickt. Fig. 34 erläutert die äußere Einrichtung des astronomischen Fernrohrs. Das Objectiv ist bei k, das Ocular ist bei o angeschraubt. Wenn der Gegenstand AB, Fig. 32, dem Ocular näher rückt, so entfernt sich das Bild ab von demselben, man muß also auch die Ocularlinse vv vom Objectiv mehr entfernen; aus diesem Grunde muß das Ocular etwas gegen das Objectiv verschiebbar sein. Größere Fernrohre werden auf Stativen aufgestellt, wie Fig. 33 zeigt.

Das astronomische Fernrohr gibt ein verkehrtes Bild der Gegenstände, was bei Betrachtung irdischer Objecte, wie Landschaften, sehr störend ist. Zu diesem Zweck eignen sich deshalb besser das holländische oder Galilei'sche Fernrohr und das terrestrische oder Erdfernrohr. Bei dem holländischen Fernrohr wird das Ocular durch eine Hohllinse, Fig. 35, gebildet, welche die vom Objectiv kommenden Strahlen auffängt, ehe sie sich noch zum Bild ab vereinigt haben, sodaß die Strahlen, welche gegen einen Punkt des nicht zu Stande kommenden Bildes ab convergiren, nach dem Durchgang durch die Hohllinse v so divergiren, als ob sie von einem Punkt des vergrößerten Bildes a'b' kämen.

Das holländische Fernrohr erlaubt nur schwächere Vergrößerungen, weil sein Gesichtsfeld für einigermaßen starke Vergrößerungen sehr klein wird. Die bekannten Theaterperspective, welche nur eine 2 bis 3 malige Vergrößerung geben und deren innere Einrichtung durch Fig. 36 erläutert wird, sind holländische Fernrohre.

Bei dem Erdfernrohr ist das als Lupe wirkende Ocular des astronomischen Fernrohrs durch ein schwach wirkendes Mikroskop ersetzt, welches das verkehrte Bild des Objectivs wieder umkehrt, also ein aufrechtes Bild des Gegenstandes gibt.

Die verbreitetste Form des Erdfernrohrs sind die allgemein bekannten Zugfernrohre, deren Einrichtung durch Fig. 37 erläutert wird. Die Ocularröhre enthält 4 Sammellinsen, welche zusammen wie ein schwaches Mikroskop wirken.

Ehe man gelernt hatte, achromatische Linsen zu construiren, waren die dioptrischen Fernrohre wegen der chromatischen Aberration ziemlich mangelhaft, man suchte sie deshalb durch katoptrische zu ersetzen, d. h. man ersetzte die Objectivlinse durch einen Hohlspiegel und so entstanden die Spiegelteleskope.

Die Construction des Newton'schen Spiegelteleskops wird durch Fig. 38 erläutert. An dem Ende eines vorn offenen Rohrs ist ein metallener Hohlspiegel ss eingesetzt, der von einem weit entfernten Gegenstande ein verkehrtes verkleinertes Bild bei a entwerfen würde, wenn die von ss kommenden Strahlen nicht durch den metallenen Planspiegel p aufgefangen würden; durch diesen Planspiegel werden aber die Strahlen seitwärts reflectirt, sodaß das Bild des entfernten Gegenstandes bei b entsteht. Dieses Bild bei b wird nun durch das Ocular o betrachtet.

Fig. 39 erläutert die Construction des Gregory'schen Spiegelteleskops. Der in seiner Mitte durchbrochene Objectivspiegel ss entwirft von dem entfernten Gegenstand ein verkehrtes verkleinertes Bild in a. Dieses Bild a befindet sich aber nahe bei dem Brennpunkt des kleinen Hohlspiegels V, welcher vom Bilde a ein vergrößertes aufrechtes Bild b entwirft, und dieses Bild b wird endlich durch das Ocular o betrachtet. Fig. 40 stellt das Aeußere eines Geregory'schen Spiegelteleskops dar.

VII. Interferenz der Lichtstrahlen.

Die Grundlage zur Erklärung der Lichterscheinungen bildet die gegenwärtig von allen Physikern angenommene Vibrations- oder Undulationstheorie, nach welcher das Licht durch eine sehr rasche Oscillationsbewegung der Atome des leuchtenden Körpers erzeugt, und durch eine Wellenbewegung des Aethers, einer imponderabeln, höchst feinen und elastischen Substanz, welche alle Himmelsräume und die Zwischenräume zwischen den Atomen der ponderabeln Körper ausfüllt, fortgepflanzt werden.

Es sei AB, Fig. 41, die Richtung, nach welcher sich ein elementarer Lichtstrahl fortpflanzt, so werden alle Aethertheilchen, welche in ihrem Ruhezustand auf der geraden Linie AB liegen, rechtwinkelig zu dieser Richtung hin- und hervibriren, sodaß sie in einem bestimmten Moment etwa die gegenseitige Stellung haben, wie es die Figur andeutet. Das Theilchen b oscillirt zwischen b' und b", das Theilchen f oscillirt zwischen f' und f". In demselben Moment, in welchem b in b" ankommt, kommt f in f' an, u. s. w.

Der Abstand von b nach f ist eine halbe, der Abstand von b nach c ist eine ganze Wellenlänge. Zwei Aethertheilchen, welche um eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt sind, befinden sich stets in entgegengesetzten, solche, welche um eine ganze Wellenlänge entfernt sind, befinden sich in gleichen Schwingungszuständen.

Wenn demnach von einer gemeinsamen Lichtquelle ausgehend zwei Lichtstrahlen auf verschiedenen Wegen zu einem und demselben Punkte gelangen, so können sie sich entweder unterstützen, wenn der Unterschied ihrer Wege (Gangunterschied) eine, oder ein ganzes Vielfaches einer Wellenlänge beträgt; oder sie müssen sich in ihrer Wirkung aufheben, wenn ihr Gangunterschied eine halbe oder ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt.

Ein solches Zusammenwirken zweier Lichtstrahlen, bei welchem sie sich je nach den Umständen gegenseitig verstärken oder aufheben, wird Interferenz genannt.

Die Interferenz der Lichtstrahlen läßt sich am einfachsten mit Hülfe der Fresnel'schen Interferenzspiegel zeigen. Zwei ebene Spiegel von schwarzem Glase sind so zusammengestellt, daß sie einen sehr stumpfen (wenig von 180° abweichenden) Winkel mit einander machen. Wenn man auf dieselben von einer entfernten Lichtquelle, etwa von einer verticalen Lichtlinie c, Fig. 4, Taf. 6, in sehr schräger Richtung Strahlen auf diese Spiegel fallen läßt, so werden sich die von beiden Spiegeln reflectirten Strahlen unter sehr spitzem Winkel schneiden. Je zwei der reflectirten, in irgend einem Punkte d sich schneidenden Strahlen haben nun aber meist ungleich lange Wege csd und cs'd zurückgelegt. Je nachdem nun die Differenz dieser Wege ein ganzes Vielfaches einer Wellenlänge, oder ein ungerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt, werden sich die in d zusammentreffenden Strahlen unterstützen oder aufheben, man sieht hier also abwechselnd helle und dunkle Streifen, Fig. 42, Taf. 5. Weil diese Streifen sehr fein sind, muß man sie mit der Lupe betrachten. Fig 3, Taf. 6, erläutert die Construction der Interferenzspiegel.

Ein zweites Beispiel von Interferenz der Lichtstrahlen liefern die Beugungserscheinungen, welche beim Durchgang des Lichts durch sehr enge Oeffnungen erzeugt werden. Der einfachste Fall des Beugungsphänomens ist folgender: Die Sonnenstrahlen, welche man durch einen verticalen Spalt in ein dunkles Zimmer ganz in der Weise eintreten läßt, als ob man ein prismatisches Spectrum erzeugen wollte, werden durch einen 10 bis 15 Fuß entfernten Schirm aufgefangen, in welchem sich nur ein ½ bis 1 Millimeter breiter, dem ersten paralleler Spalt befindet. Läßt man nun die durch den zweiten Spalt hindurchgegangenen Strahlen in einer Entfernung von abermals 10 bis 15 Fuß auf einen Schirm von weißem Papier fallen, so sieht man auf demselben nicht etwa blos einen schmalen verticalen Lichtstreif, wie man nach der geradlinigen Fortpflanzung des Lichts erwarten sollte, sondern die Beugungsfigur Fig. 44, Taf. 5: ein breites, weißes, helles Feld in der Mitte, welches zu beiden Seiten von abwechselnd hellen und dunklen farbigen Streifen gesäumt ist. Das Beugungsbild wird um so breiter und lichtschwächer, je schmäler der Spalt ist.

Am einfachsten gestaltet sich die Erscheinung für homogenes (einfarbiges) Licht. Läßt man das auf die zweite Spalte fallende Licht erst durch ein rothes Glas gehen, so besteht das Beugungsbild aus abwechselnd rothen und schwarzen Streifen. Wendet man statt des rothen Glases ein grünes an, so ist das Beugungsbild der Art nach dasselbe, nur rücken die Streifen etwas näher zusammen; noch mehr rücken sie aber für blaues Licht zusammen.

Mit der Gestalt der beugenden Oeffnung ändert sich auch die Gestalt des Beugungsbildes. Fig. 45 stellt das Beugungsbild dar, wie es durch eine kleine rautenförmige Oeffnung der nebenstehenden Form erzeugt wird. Fig. 5, Taf. 6, zeigt das Beugungsbild einer kleinen kreisförmigen Oeffnung.

Weit schöner als beim Auffangen auf einem Schirme zeigen sich die Beugungserscheinungen bei subjectiver Beobachtung, d. h. wenn man gleichsam die Netzhaut zum Auffangen des Beugungsbildes benutzt. Am besten geschieht dies, wenn man die beugende Oeffnung vor das Objectiv eines Fernrohrs setzt, Fig. 6, Taf. 6, und dann durch das Fernrohr nach der Lichtquelle schaut.

Eine weitere Reihe von Interferenzerscheinungen bilden die Farben dünner Blättchen. Jeder durchsichtige Körper glänzt nämlich mit den brillantesten Farben, wenn er nur hinlänglich dünn ist. Das bekannteste Beispiel sind die Seifenblasen.

Newton brachte diese Farben in der größten Regelmäßigkeit dadurch hervor, daß er eine Glaslinse von sehr großer Brennweite auf eine ebene Glastafel legte. Es bildet sich dann eine sehr dünne Luftschicht zwischen den beiden Gläsern, welche von der Mitte bis zum Rande hin allmählich dicker wird, und welche bei auffallendem weißem Lichte eine Reihe brillanter Farbenringe zeigt, deren Centrum durch einen dunkeln Fleck gebildet wird, wie dies durch Fig. 46, Taf. 5, anschaulich gemacht werden soll.

Durch die dunkelsten Stellen dieser Ringe werden sie gleichsam in verschiedene Abtheilungen (Ordnungen) getheilt. Die Farben von der Mitte bis zum ersten dunkeln Ring, heißen die Farben erster Ordnung; vom ersten bis zum zweiten dunkeln Ring heißen sie Farben zweiter Ordnung, u. s. w.

Die Erscheinung rührt daher, daß die an der Vorderfläche der dünnen Schicht reflectirten Strahlen mit denjenigen zur Interferenz kommen, welche an der hintern Fläche reflectirt werden, welche also einen größern Weg zurückgelegt haben, wie dies Fig. 47, Taf. 5, andeutet. Da nun aber die Wellenlänge der verschiedenen Farben ungleich ist, so kommt es, daß für gewisse Farben die interferirenden Strahlen sich gegenseitig unterstützen, während sie sich an derselben Stelle des dünnen Blättchens gegenseitig aufheben. An solchen Stellen, welche die Farben zweiter und dritter Ordnung zeigen, herrscht eine Farbe entschieden vor, während andere im Minimum sind, wie sich am besten durch prismatische Zerlegung darthun läßt.

Fig. 12, Taf. 5, zeigt die prismatische Zerlegung des Grüns vierter Ordnung. Allerdings herrscht hier das Grün vor, allein es kommt von andern Farben doch noch so viel hinzu, daß das Grün vierter Ordnung ziemlich matt erscheint.

Für Blättchen, welche so dick sind, daß sie in weißem Licht keine Farben mehr zeigen, hört deshalb die Interferenz nicht auf, nur wirken die verschiedenen Farben so zusammen, daß keine vorherrschen kann, wie man dies am besten durch die prismatische Zerlegung der Farben solcher dicker Blättchen (Fig. 13 und 14) nachweisen kann.

VIII. Polarisation und doppelte Brechung.

Ein Lichtstrahl ist polarisirt, wenn die rechtwinkelig zu seiner Fortpflanzungsrichtung stattfindenden Vibrationen der Aethertheilchen sämmtlich in einer und derselben Ebene stattfinden.

Solche polarisirte Strahlen entstehen z. B., wenn ein gewöhnlicher Lichtstrahl ab, Fig. 49, Taf. 5, so auf eine Glasplatte RS fällt, daß der Winkel abh, den er mit ihr macht, 35° beträgt. Der reflectirte Strahl bc ist alsdann polarisirt, seine Schwingungen sind der Ebene des Spiegels RS parallel, sie gehen sämmtlich in der Ebene lfdm vor sich.

Um die Erscheinungen der Polarisation an Glasspiegeln zu zeigen, muß man schwarzes Glas oder doch auf der Rückseite geschwärztes Glas anwenden. In Fig. 48 sei fgih ein schwarzer Glasspiegel, welcher in der Richtung bc einen polarisirten Strahl reflectirt. Fällt dieser Strahl auf eine zweite, ebenfalls auf der Rückseite geschwärzte Glastafel, welche der untern parallel ist, so wird dieser zweite Spiegel den Strahl bc in der Richtung cd reflectiren; dreht man jedoch den obern Spiegel so, daß die Richtung des Strahls bc die Umdrehungsaxe bildet, so bleibt zwar der Winkel, welchen der einfallende Strahl bc mit der Spiegelfläche macht, ungeändert, allein der Parallelismus der beiden Spiegel hört auf; der reflectirte Strahl wird um so schwächer, je weiter man dreht, die Reflexion am obern Spiegel hört ganz auf, wenn man um 90° gedreht hat.

Fig. 7, Taf. 6, stellt einen Polarisationsapparat dar, mit welchem sich die eben angedeuteten Versuche ausführen lassen. Bequemer ist der Nörrembergische Polarisationsapparat, Fig. 8, bei welchem die polarisirten Strahlen in verticaler Richtung zum obern Theil des Apparats gelangen. Der Polarisationsspiegel AB ist auf der Rückseite nicht geschwärzt. Die von ihm polarisirten Strahlen gehen vertical nach unten, wo sie, durch den in gewöhnlicher Weise belegten Spiegel s vertical nach oben reflectirt, durch den Polarisationsspiegel AB ungeändert hindurchgehen, um endlich zum Zerlegungsspiegel CD zu gelangen.

In der Mitte des Apparats befindet sich ein Tischlein m von Glas, welches für gewöhnlich horizontal steht, welches man aber in horizontaler Ebene umdrehen und etwas gegen die Horizontale neigen kann.

Ein zweites Mittel, polarisirtes Licht zu erhalten, bieten solche Turmalinplatten, welche parallel mit der krystallographischen Hauptaxe dieses meist grün oder braun gefärbten Minerals geschnitten sind. Eine solche Platte läßt nur solche Strahlen durch, deren Schwingungsebene parallel ist der krystallographischen Hauptaxe, wie dies durch Fig. 47, Taf. 4, erläutert werden soll, in welcher abcd eine Turmalinplatte darstellen soll, deren Axe parallel der Kante ab (also auch parallel der Schraffirung) ist. Der in der Richtung RS hindurchgegangene Strahl ist so polarisirt, daß seine Schwingungen in der Ebene fgih stattfinden.

Legt man zwei Turmalinplatten abdc, Fig. 48, Taf. 4, und efhg so aufeinander, daß die krystallographischen Axen beider parallel sind, so wird das Licht, welches durch die untere Platte hindurchgegangen ist, auch durch die zweite hindurchgehen. Dreht man aber die eine, etwa efhg, in ihrer Ebene aus dieser Lage des Parallelismus heraus, so wird das durchgelassene Licht schwächer und schwächer, bis es endlich ganz verschwindet, wenn man die eine Platte um 90° gedreht hat, bis also die Axen der beiden Platten gekreuzt sind, Fig. 49.

Um mit den Turmalinplatten bequem experimentiren zu können, werden sie in eine Turmalinzange, Fig. 9, Taf. 6, gefaßt, welche erlaubt, jede der mittels Kork in ein geränderte Messingscheibchen eingesetzten Turmalinplatten bequem in ihrer Ebene umzudrehen. Fig. 43, Taf. 5, stellt eine andere Form der Turmalinzange dar.

Wenn man aus irgendeinem Krystall, welcher nicht zum regulären System gehört, ein Prisma bildet und durch dasselbe nach irgendeinem kleinen Gegenstand hinschaut, so erblickt man in der Regel zwei Bilder des Gegenstandes, welche ungleich starke Ablenkung durch das Prisma erlitten haben; die einfallenden Lichtstrahlen sind also in zwei ungleich stark brechbare Bündel getheilt worden, welche, wie sich durch die Untersuchung mit der Turmalinplatte ergibt, polarisirt sind, und deren Schwingungsebenen rechtwinkelig zueinander stehen. Die Schwingungen, welche die Strahlen des einen Bildes fortpflanzen, finden in der Richtung der krystallographischen Hauptaxe statt, die Schwingungen des andern sind rechtwinkelig zu derselben.

Der rechtwinkelig zur Hauptaxe vibrirende Strahl wird der ordinäre, der andere wird der extraordinäre genannt. Der ordinäre Strahl pflanzt sich nach allen Richtungen im Krystall mit gleicher Geschwindigkeit fort, für den extraordinären Strahl ist die Geschwindigkeit veränderlich, je nach der Richtung, in welcher er den Krystall durchläuft. Bei den Krystallen des quadratischen und des hexagonalen Systems haben der ordinäre und der extraordinäre Strahl in der Richtung der krystallographischen Hauptaxe gleiche Geschwindigkeit; in der Richtung der Hauptaxe findet also keine doppelte Brechung statt. Solche Richtungen im Krystall, nach welchen sich alle Strahlen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen, werden optische Axen genannt. Für die Krystalle der obengenannten zwei Systeme gibt es nur eine optische Axe, für die drei folgenden Krystallisationssysteme gibt es deren zwei. Danach unterscheidet man optisch einaxige und zweiaxige Krystalle.

IX. Chromatische Polarisation.

Legt man ein dünnes Plättchen irgendeines doppelt brechenden Krystalls, etwa ein dünnes Gipsblättchen auf das Tischlein m des Polarisationsapparats, Fig. 8, Taf. 6, so erscheint sein Bild, im obern Spiegel betrachtet, schön gefärbt. Die Farbe ändert sich mit der Dicke des Blättchens, mit seiner Lage und mit der Stellung des Zerlegungsspiegels.

Das Gipsblättchen sei so gelegt, daß seine Farbe möglichst brillant erscheint, während die Schwingungsebenen der beiden Polarisationsspiegel AB und CD gekreuzt sind, so geht die Farbe in die complementäre über, wenn man den obern Spiegel um 90° dreht. Erscheint z. B. das Blättchen bei gekreuzten Spiegeln grün, so ist es roth bei parallelen Spiegeln.

Ganz eigenthümliche Ringfiguren beobachtet man, wenn man senkrecht zur Axe geschnittene Krystallplatten in die Turmalinzange legt. Näheres darüber lehrt die Mineralogie.

Im normalen Zustande zeigt Glas keine doppelte Brechung und folglich auch keine chromatische Polarisation; dieselbe erscheint aber, sobald durch einseitigen Druck, durch Erwärmung, durch rasche Abkühlung glühend gemachter Glasplatten u. s. w. die Homogenität der Masse zerstört wird. Fig. 50, Taf. 4, zeigt die Erscheinung einer dicken, schnell gekühlten quadratischen Glasplatte zwischen gekreuzten Spiegeln, wenn man sie auf das mittlere Tischlein des Polarisationsapparats, Fig. 8, Taf. 6, legt.

Wenn man eine senkrecht zur Axe geschliffene Quarzplatte zwischen die gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparats, Fig. 8, Taf. 6, auf das Tischlein m legt, so scheint sie je nach ihrer Dicke verschieden gefärbt.

Diese Farbe ändert sich nun, wenn man den Zerlegungsspiegel CD dreht, aber in ganz anderer Weise, als es bei dünnen Gipsblättchen geschieht; sie durchläuft eine Reihe von Nuancen, in denen bald roth, gelb, grün, blau oder violett vorherrscht. Es rührt dies daher, daß durch die Quarzplatte die Schwingungsebene der von unten kommenden Strahlen gedreht wird (Circularpolarisation).

Auch bei Flüssigkeiten wird die Erscheinung der Circularpolarisation beobachtet, so z. B. im Terpentinöl (linksdrehend), in Zuckerlösungen (rechtsdrehend) u. s. w., und dadurch hat die Circularpolarisation auch eine praktische Bedeutung gewonnen, weil sie zur Ermittelung des Concentrationsgrades zuckerhaltiger Lösungen angewandt wird. Fig. 10, Taf. 6, stellt das zu diesem Zweck von Soleil construirte Saccharometer dar; m ist eine 20 Centimeter lange, an beiden Enden mit Glasplatten verschlossene Röhre, welche zur Aufnahme der zuckerhaltigen Flüssigkeit bestimmt ist. Sie liegt zwischen zwei polarisirenden Kalkspatprismen, welche die Stelle der beiden Polarisationsspiegel im Apparat Fig. 8 vertreten; bei c sind zwei senkrecht zur Axe geschliffene keilförmige Platten von Bergkrystall angebracht, von denen die eine rechts-, die andere linksdrehend ist, durch deren gegenseitige Verschiebung man die rechtsdrehende Wirkung der Zuckerlösung compensiren kann. Mit dem Zuckergehalt der Lösung wächst natürlich auch die Größe der Drehung der Polarisationsebene.

D. Wärmelehre.

(Tafel 6, Figur 11 — 39, Tafel 7, Figur 1 — 32.)

I. Ausdehnung.

Die Wärme hat die Eigenschaft, alle Körper auszudehnen, und zwar am stärksten die gasförmigen, am schwächsten die festen.

Um die geringe Längenausdehnung fester Körper sichtbar zu machen, wendet man Hebelpyrometer, Fig. 11, Taf. 6, an. Der Stab t, dessen Ausdehnung gemessen werden soll, stößt mit seinem einen Ende bei v gegen eine feste Widerlage, mit seinem andern Ende gegen den kürzern Arm eines Winkelhebels an, dessen längerer Arm l auf eine Scala bei s zeigt. Wenn die Stange t erwärmt wird, so geht das Ende des langen Hebelarms in die Höhe.

Genaue Messungen haben ergeben, daß für eine Temperaturerhöhung von 0 bis 100° (von der Temperatur des schmelzenden Schnees bis zu der des siedenden Wassers) sich ausdehnen:

ein Glasstab um $^1/_{1248}$ ein Kupferstab um $^1/_{584}$
ein Eisenstab um $^1/_{819}$ ein Zinkstab um $^1/_{340}$
ihrer ursprünglichen Länge.

Die körperliche, kubische Ausdehnung der festen Körper ist drei mal so groß als ihre lineare Ausdehnung, wie durch Anschauung der Fig. 12 erläutert wird. Bei einer Temperatur-Erhöhung von 0 bis 100° wird sich also

ein Glasgefäß um $^3/_{1248}$
ein Kupfergefäß um $^3/_{584}$
seines ursprünglichen Inhalts ausdehnen.

Ein durch eine Metallstange gebildetes Pendel wird bei heißem Wetter länger sein als bei kaltem; bei heißem Wetter wird es also etwas langsamer oscilliren. Diesem Uebelstand wird durch die Compensationspendel (Rostpendel) abgeholfen, deren Construction sich auf die ungleiche Ausdehnung verschiedener Metalle gründet. Fig. 14 stellt ein aus Eisen- und Zinkstäben construirtes Rostpendel dar. Durch die Ausdehnung der beiden Eisenstäbe R und des mittlern Eisenstabes S wird die Linse des Pendels gesenkt, durch die Ausdehnung der beiden Zinkstäbe T wird sie aber um ebenso viel gehoben.

Fig. 13 stellt einen Streifen dar, welcher aus zwei verschiedenen Metallen (etwa Eisen und Zink) zusammengesetzt ist. Wenn die beiden Streifen bei mittlerer Temperatur zusammengenietet eine gerade Linie bilden, so werden sie sich bei höherer Temperatur so krümmen müssen, daß das stärker sich ausdehnende Metall das äußere wird; bei niedrigern Temperaturen nimmt der zusammengesetzte Streifen eine entgegengesetzte Krümmung an.

Fig. 15 stellt Breguet's Metallthermometer dar. Drei Metallstreifchen, Silber, Gold und Platin, sind so aufeinandergelöthet, daß sich das Gold in der Mitte zwischen dem stärker ausdehnbaren Silber und dem weniger ausdehnbaren Platin befindet. Die zusammengelötheten Metallstreifen sind zu einem sehr dünnen Bande ausgewalzt. Nachdem dieses Band spiralförmig aufgewunden worden ist, wird das eine Ende desselben bei A befestigt und an dem untern Ende der Spirale eine leichte Nadel angehängt. Jede Temperaturveränderung bewirkt, daß sich das Spiralband mehr auf- oder mehr zuwindet, wobei sich die Spitze der Nadel über die empirisch ausgeführte Gradtheilung hinbewegt.

Die Flüssigkeiten dehnen sich schon weit stärker aus als die festen Körper. Um die Ausdehnung einer Flüssigkeit zu messen, wendet man Gefäße von der Form Fig. 16 oder 17 an. Dieselben werden erst leer auf einer Wage tarirt; dann bei 0° mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt (Fig. 17 bis zur Marke a) und das Gewicht der bei 0° im Gefäß enthaltenen Flüssigkeit bestimmt. Wird jetzt das Gefäß bis 100° erwärmt, so tritt ein Theil der Flüssigkeit aus, und man hat nun zu bestimmen, wie viel die bei 100° das Gefäß füllende Flüssigkeit wiegt. Aus diesen beiden Wägungen ergibt sich alsdann die scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeit.

Die wahre Ausdehnung der Flüssigkeit würde man durch diesen Versuch erhalten haben, wenn sich die Gefäße nicht auch ausgedehnt hätten. Man erhält die wahre Ausdehnung der Flüsigkeit, wenn man zu der scheinbaren Ausdehnung noch die Ausdehnung des Gefäßes hinzuaddirt. So ergibt sich z. B. für eine Temperaturerhöhung von 0 bis 100° die Ausdehnung

des Quecksilbers $^1/_{55}$ des Alkohols $^1/_{10}$
des Wassers $^1/_{23}$ des Aethers $^1/_7$.

Die Ausdehnung der Flüssigkeiten benutzt man zur Construction der Thermometer. Es sind dies enge Glasröhren, an welche ein kugel- oder cylinderförmiges Gefäß angeblasen ist. Das Gefäß und ein Theil der Röhre, Fig. 18, ist mit der Flüssigkeit (meist Quecksilber, manchmal auch gefärbter Weingeist) gefüllt; oben ist die Röhre zugeschmolzen. Um das Thermometer zu graduiren, wird das Gefäß zunächst in schmelzenden Schnee gebracht, Fig. 19, und der Punkt der Röhre markirt, bei welchem der Gipfel der Quecksilbersäule sich feststellt (der Gefrierpunkt); alsdann bringt man das Thermometer in ein Gefäß, auf dessen Boden Wasser ins Kochen gebracht wird, Fig. 20 oder 21, sodaß die Kugel und ein Theil der Röhre von den Dämpfen des kochenden Wassers umgeben sind. Das Quecksilber steigt nun in der Röhre bis zu einem bestimmten Punkt (dem Siedepunkt). Der Zwischenraum zwischen diesen beiden festen Punkten wird nun bei dem Celsius'schen Thermometer in 100, bei dem Réaumur'schen in 80 gleiche Theile getheilt. Bei beiden wird der Gefrierpunkt mit 0 bezeichnet, während der Siedepunkt bei ersterm mit 100, beim letzterm mit 80 bezeichnet ist. Beim Fahrenheit'schen Thermometer ist ein künstlicher Nullpunkt gewählt, nämlich die Temperatur, auf welche ein Gemenge von Schnee und Salmiak sinkt. Den Siedepunkt hat das Fahrenheit'sche Thermometer mit den übrigen gemein. Der Zwischenraum zwischen dem Fahrenheit'schen Nullpunkt (—17 $^7/_9$ Celsius) und dem Siedepunkt ist in 212 gleiche Theile getheilt, sodaß unser Nullpunkt mit 32° der Fahrenheit'schen Scala zusammenfällt.

In Fig. 22 ist die Réaumur'sche Scala mit der Celsius'schen und der Fahrenheit'schen zusammengestellt.

Sehr merkwürdig ist die ungleichförmige Ausdehnung des Wassers. Wenn man ein Wasserthermometer in großem Maßstab herstellt und den Punkt markirt hat, bei welchem sich die Wassersäule feststellt, wenn das Gefäß mit schmelzendem Schnee umgeben ist, so findet man, daß das Thermometer steigt, wenn man es vorsichtig noch weiter erkaltet, daß es aber sinkt, wenn man es erwärmt. Es sinkt bis die Temperatur auf 6° gestiegen ist, wie man aus Fig. 23 ersieht, welche die genaue Copie der Scala eines Wasserthermometers zeigt. Wenn man die Ausdehnung des Glasgefäßes mit in Rechnung bringt, so ergibt sich, daß das Wasser bei 4° C. die größte Dichtigkeit (Dichtigkeitsmaximum) hat, daß also Wasser von 4° sich ausdehnt, mag man es nun erwärmen oder erkalten.

Beim Gefrieren dehnt sich das Wasser nochmals aus, sodaß das specifische Gewicht des Eises nur $^9/_{10}$ von dem des Wassers ist, weshalb denn das Eis auch auf Wasser, selbst auf kochendem Wasser schwimmt.

Die Gewalt, mit welcher sich das Wasser beim Gefrieren ausdehnt, ist so groß, daß es die stärksten Gefäße, selbst eiserne Bomben sprengen kann, wie durch Fig. 24 und 25 erläutert wird.

Weit stärker noch als die flüssigen Körper dehnen sich die gasförmigen aus, und zwar ist die Ausdehnung für alle Gase gleich groß, sie beträgt $^{365}/_{1000}$ für eine Temperaturerhöhung von 100°.

II. Schmelzen und Erstarren.

Durch gesteigerte Erwärmung kann man die meisten festen Körper schmelzen, wenn sie nicht schon vorher eine chemische Zersetzung erleiden. Die Temperatur, bei welcher ein fester Körper schmilzt, ist für den gleichen Stoff stets derselbe. So ist z. B. der Schmelzpunkt für

Eisen	1600° C.	Wachs	68° C.
Blei	334	Eis	0
Schwefel	109	Quecksilber	—40.

Wenn ein fester Körper schmilzt, so wird eine mehr oder minder große Menge Wärme gebunden, d. h. er nimmt eine große Menge Wärme auf, welche lediglich zur Schmelzung gebraucht wird, ohne die mindeste Temperaturerhöhung zu bewirken. So bedarf es einer großen Wärmemenge um Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. In einen kleinen Holzkübel, Fig. 26, fülle man 2 Pfund Schnee von 0° und schütte darauf 2 Pfund Wasser von 79°, so wird bei gehörigem Umrühren alsbald aller Schnee geschmolzen sein, und man hat nun 4 Pfund Wasser von 0°. Alle Wärme also, welche die 2 Pfund Wasser abgaben, während sie von 79° auf 0° erkalteten, hat lediglich dazu gedient, 2 Pfund Schnee zu schmelzen.

In ähnlicher Weise wird Wärme bei der Schmelzung jedes festen Körpers gebunden.

Wenn einem festen Köper beim Uebergang in den flüssigen Zustand nicht genug Wärme von außen zugeführt wird, so muß seine Temperatur sinken. Jede rasche Auflösung eines Salzes im Wasser ist von einer Temperaturerniedrigung begleitet. Darauf beruht der Eisapparat, Fig. 27. Die einzelnen Blechröhren des Gefäßes, welches in Fig. 28 im Durchschnitt dargestellt ist, werden mit Wasser gefüllt und nachdem der Deckel aufgeschraubt ist, in den Holzkübel eingesetzt, wie Fig. 27 zeigt. In diesen Kübel werden nun zunächst 5 bis 6 Pfund salpetersaures Ammoniak eingefüllt und darauf dann ebenso viel Wasser gegossen. Nachdem nun auch der Kübel durch einen Deckel geschlossen ist, wird durch rasche Umdrehung des Röhrengefäßes die Auflösung des Salzes beschleunigt. Wenn man die Umdrehung ungefähr 5 Minuten fortgesetzt hat, ist die Temperatur der Salzlösung auf 10° unter Null gesunken und das Wasser in den Röhren gefroren.

Eine sehr große Temperaturerniedrigung wird auch durch andere Kältemischungen erzeugt, so namentlich durch Mengung von Schnee oder gestoßenem Eis mit Kochsalz.

Die beim Schmelzen gebundene Wärme muß beim Erstarren eines flüssigen Körpers wieder frei werden. Beim Wasser läßt sich dies mit Hülfe des Apparats, Fig. 29, zeigen. Das Gefäß eines Thermometers ist von einem zweiten Gefäß umgeben, in welchem sich etwas Wasser, und über demselben ein luftleerer Raum befindet. Taucht man dies Gefäß in eine Kältemischung, so bleibt das Wasser flüssig, bis es auf 10 oder 12° unter Null erkaltet ist, dann erstarrt die ganze Masse auf einmal und das Thermometer steigt auf 0°.

Einen ähnlichen Versuch kann man mit unterschwefligsaurem Natron machen, welches man in einem Glaskölbchen, Fig. 30, schmilzt und dann, nachdem man ein Thermometer hineingesetzt hat, ruhig stehen läßt. Die geschmolzene Masse erkaltet bis zur Temperatur der Umgebung, also weit unter ihren Schmelzpunkt (56° C.), ohne zu erstarren; wenn man aber dann ein kleines Krystallstückchen hineinwirft, so beginnt eine massenhafte Krystallbildung, während das Thermometer um mehr als 20° steigt.

III. Dampfbildung.

Durch Zuführung von Wärme können tropfbar-flüssige Körper in Gasform übergeführt werden. Solche in Gasform übergeführte Flüssigkeiten nennt man Dämpfe. Daß sich Dämpfe im leeren Raume bilden, läßt sich mit Hülfe des Apparats, Fig. 31, nachweisen. In einem gemeinschaftlichen Gefäß stehen drei Torricelli'sche Röhren. Das Rohr b auf der linken Seite bleibt unverändert ein vollständiges Barometer, während man in den leeren Raum des Barometers b′ einige Tropfen Wasser aufsteigen läßt. Alsbald wird der Gipfel der Quecksilbersäule bis zur Höhe t niedergedrückt, weil sich nun im Vacuum des Barometers b′ Dämpfe bilden. Noch auffallender wird diese Depression (bis s), wenn man in dem dritten Barometer b″ einige Tropfen Aether aufsteigen läßt, dessen Dämpfe bei gleicher Temperatur eine weit bedeutendere Spannkraft haben.

Am besten lassen sich die wichtigsten Gesetze der Dampfbildung an einem Dampfkessel, etwa an einem Papinianischen Topfe, Fig. 32, erläutern. In dem aufgeschraubten Deckel befinden sich drei Oeffnungen. Auf der einen ist ein Sicherheitsventil angebracht, dessen Belastung durch Verschiebung des Gewichts q regulirt wird; in die zweite Oeffnung ist ein in den Kessel hineinragendes Röhrchen a von Eisenblech eingeschraubt, welches zum Theil mit Quecksilber angefüllt ist. Ein in das Quecksilber eingesetztes Thermometer zeigt die Temperatur des im Kessel enthaltenen Wassers und Dampfes. Auf der dritten Oeffnung endlich sitzt ein kurzes Rohr, welches durch einen Hahn verschlossen werden, und auf welches man verschiedene Ausströmungsöffnungen aufschrauben kann.

Der Kessel wird ungefähr bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit Wasser gefüllt und dann auf ein genügend starkes Feuer gebracht. Wenn nun der Hahn offen ist, so steigt alsbald die Temperatur des Wassers bis zum Siedepunkt, d. h. bis 100°. Das Wasser kocht. Mag dies Kochen noch so lange fortgesetzt werden, so steigt das in a eingesetzte Thermometer doch nicht über 100°. Alle dem Wasser zugeführte Wärme entweicht mit den aus der Oeffnung bei b ausströmenden Dämpfen. Diese

ausströmenden Dämpfe nehmen auch alsbald alle Luft aus dem obern Theil des Kessels mit fort.

Sobald aber nun durch Schließung des Hahns dem Abströmen des Dampfes ein Ende gemacht wird, beginnt das Thermometer in a zu steigen; in dem obern Theile des Kessels bilden sich mehr und mehr Dämpfe, ihre Spannkraft, d. h. der Druck, den sie gegen die Gefäßwände ausüben, wächst, bis sie endlich im Stande sind, das Ventil zu heben und aus demselben auszuströmen.

Wird das Feuer entfernt, so sinkt allmählich die Temperatur des Wassers und die Spannkraft der Dämpfe nimmt ab; bei 100° ist die Spannkraft der Dämpfe wieder gleich dem Druck der äußern Atmosphäre. Sinkt die Temperatur noch mehr, so sinkt der Dampfdruck im Innern des Kessels *unter* den Druck der Atmosphäre.

Sehr schön läßt sich dies auch mit dem Apparat Fig. 33 zeigen. Durch den Kork, welcher den Ballon a schließt, geben zwei Glasröhren, die eine c geht fast bis auf den Boden von a, die andere b mündet dicht unter dem Kork. Bringt man das Wasser in a ins Kochen, während c oben verstopft ist, so entweichen die Dämpfe mit der Luft durch b. Taucht man nun das untere Ende von b in Wasser und entfernt man die Flamme, welche unter a war, so werden die Dämpfe in a condensirt, und das Wasser steigt durch die Röhre b in den Ballon. Ist dieser etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt, so verstopft man b, öffnet c und bringt wieder eine Weingeistflamme unter a an; die nun in a entwickelten Dämpfe pressen auf das Wasser im Ballon und heben es in die Röhre c, sodaß es oben aus derselben ausfließt.

Die Spannkraft des Wasserdampfs, welche einer bestimmten Temperatur entspricht, läßt sich mit Hülfe des Manometers r r, Fig. 34, bestimmen, welches mit dem Kessel C in Verbindung steht, oder auch durch Apparate von der Form der Fig. 35 (auf Taf. 6 irrthümlich mit 53 bezeichnet) welche einem Barometer gleichen, in dessen zugeschmolzenem Gefäß sich über dem Quecksilber nur noch Wasser befindet. Sobald das Gefäß erwärmt wird, bilden sich Wasserdämpfe in demselben, welche eine Quecksilbersäule im längern Rohre heben, aus dessen Höhe man auf die Spannkraft der Dämpfe schließen kann.

Zur *Messung der Spannkraft* für Temperaturen, welche unter der des Siedepunkts liegen, wendet man Dampfbarometer von der Form Fig. 31 an.

Die Spannkraft des Wasserdampfs ist

1/8	Atmosphäre bei	50° C.	2	Atmosphären bei	121° C.
1/4	„ „	65	4	„ „	145
1/2	„ „	81	8	„ „	173
1	„ „	100	16	„ „	204.

Zu den wichtigsten Anwendungen der Spannkraft der Dämpfe gehört jedenfalls die *Dampfmaschine*, deren Besprechung der Maschinenlehre zufällt.

In einem gegebenen Raum kann sich bei gegebener Temperatur nur eine bestimmte Menge Dampf bilden, und diese Dampfmenge bildet sich in einem leeren Raum augenblicklich, wenn eine hinreichende Menge Flüssigkeit vorhanden ist. So können z. B. bei einer Temperatur von 100° C. in einem Raum von 1 Kubikdecimeter gerade 600 Milligrammen und nicht mehr Wasserdampf enthalten sein. Wenn die möglichst große Quantität Dampf in einem Raume enthalten ist, so nennt man den Dampf *gesättigt*. Fig. 36 stellt einen Cylinder von 1 Quadratdecimeter Querschnitt dar, in welchem ein Kolben luftdicht auf- und abgeschoben werden kann. Unten steht dieser Cylinder durch ein Rohr mit einem Dampfkessel in Verbindung, welche durch den Hahn h unterbrochen werden kann. Der Dampfkessel sei auf 100° C. erwärmt, und auch der Cylinder befinde sich seiner ganzen Länge nach in einer Umgebung von 100°. Zu Anfang stehe der Kolben auf dem Boden auf und werde dann 1 Decimeter hoch in die Höhe gezogen, so befindet sich nun unter dem Kolben ein Raum von 1 Kubikdecimeter, in welchem sich 600 Milligrammen gesättigter Wasserdämpfe verbreiten.

Wird jetzt der Hahn h geschlossen und dann der Kolben soweit in die Höhe gezogen, daß unter ihm ein freier Raum von 2, 3 bis 6 Kubikdecimetern entsteht, so verbreiten sich die 600 Milligrammen Dampf auch in den größern Raum, welcher 1200, 1800 .... 3600 Milligramm Dampf aufnehmen könnte, jetzt ist also der Dampf nicht mehr gesättigt, er verhält sich wie atmosphärische Luft. Man kann ihn wieder bis auf 1 Kubikdecimeter zusammendrücken, ehe er gesättigt ist.

Wenn aber der gesättigte Wasserdampf noch weiter comprimirt wird, so kann die ganze Dampfmenge nicht mehr gasförmig bleiben, bei unveränderter Spannkraft wird dabei um so mehr Dampf zu flüssigem Wasser verdichtet, je weiter man den Kolben niederdrückt.

Mit Wasserdampf läßt sich dies nicht wohl sichtbar machen, wohl aber mit schwefliger Säure, welche unter mittlerm Luftdruck und bei mittlerer Temperatur gasförmig ist. Die gesättigte schweflige Säure übt bei 16° C. einen Druck von 4 Atmosphären aus, unter dem Druck von 1 Atmosphäre kann sie also bei dieser Temperatur nicht gesättigt sein. In einem eisernen, mit Quecksilber gefüllten Gefäße C, Fig. 37, sind mehrere Glasröhrchen eingesetzt, von denen das eine mit atmosphärischer Luft, ein zweites mit schwefliger Säure, ein drittes mit Cyangas u. s. w. gefüllt ist. Das Gefäß C wird nun sammt seinen Glasröhren in einen starken Glascylinder A eingesetzt, auf dessen obere Fassung eine Druckpumpe aufgeschraubt werden kann. Wenn A ganz mit Wasser gefüllt ist und mittels der Druckpumpe noch mehr Wasser eingepreßt wird, so werden auch die Gase in den Glasröhren comprimirt, welche sich anfangs ganz so verhalten wie die Luft. Sind aber alle Gase auf 1/4 ihres ursprünglichen Volumens, so wird nun zunächst bei fortgesetztem Einpressen von Wasser die schweflige Säure zur Flüssigkeit verdichtet, während die Condensation des Cyangases ungefähr bei einem Druck von 7 Atmosphären erfolgt.

Bei 0° ist die Spannkraft der gesättigten Kohlensäure ungefähr gleich 39 Atmosphären. Die unter dem Druck der Atmosphäre stehende Kohlensäure muß man also bei 0° auf 1/39 ihres Volumens comprimiren, ehe sie in flüssigen Zustand übergeht. — Um Kohlensäure in größern Quantitäten flüssig zu machen, dient der *Natterer'sche Apparat*, Fig. 38. Mittels einer Vorrichtung, welche dem Laderohr der Windbüchse ähnlich ist, deren Kolbenstange aber durch Kurbel und Schwungrad in Bewegung gesetzt wird, wird in den Recipienten r die Kohlensäure eingepreßt. An dem untern Ende des Laderohrs bei s wird ein Kautschukschlauch angesetzt, welcher zu dem *Kohlensäure-Entwickelungsapparat*, Fig. 39, führt. Wenn der Kolben im Laderohr seine tiefste Stellung hat, so gelangt die Kohlensäure von dem Apparat, Fig. 39, durch den Kautschukschlauch in das Laderohr, beim Aufgang des Kolbens aber wird alle in das Laderohr eingedrungene Kohlensäure in den Recipienten r gepreßt.

Die Einrichtung des Recipienten ist aus Fig. 40 zu ersehen. Unten ist ein Ventil angebracht, welches dem Gase zwar den Eintritt, aber nicht den Austritt gestattet. Oben ist der Recipient mit einem Ausströmungsröhrchen n versehen, welches durch Drehen der Schraube t geöffnet oder geschlossen werden kann. Wäh-

rend des Einpumpens ist der Recipient r mit einem Gefäße umgeben, welches eine Kältemischung enthält.

Der **Siedepunkt** einer Flüssigkeit ist die Temperatur, bei welcher sich bei hinlänglicher Wärmezufuhr Dampfblasen im Innern der Flüssigkeit bilden, welche dann aufsteigen und an der Oberfläche der Flüssigkeit entweichen. Die Siedetemperatur hängt vom Druck ab, welcher auf der Oberfläche der Flüssigkeit lastet. Der normale Siedepunkt ist die Temperatur, bei welcher das Kochen stattfindet, wenn der auf der Flüssigkeit lastende Druck gleich ist dem mittlern Atmosphäredruck (Barometerstand 28 Zoll oder 760^{mm}). Mit vermindertem Druck wird der Siedepunkt erniedrigt. Stellt man ein Glas mit Wasser von 60 bis 70° unter den Recipienten der Luftpumpe, so kommt es nach einigen Kolbenzügen ins Kochen. Wenn man in einem Glaskolben Wasser so lange im Kochen erhält, daß alle Luft ausgetrieben ist, und dann, nachdem die Oeffnung mit einem gutschließenden Kork geschlossen worden ist, das Gefäß umkehrt, wie Fig. 41 zeigt, und die verkorkte Mündung unter Wasser bringt, so befindet sich über dem Wasser im Ballon ein luftleerer, nur mit Dämpfen gefüllter Raum. Kühlt man diese Dämpfe durch Aufgießen von kaltem Wasser ab, so kommt die noch warme Flüssigkeit sogleich wieder ins Kochen. Daß durch vermehrten Druck der Siedepunkt erhöht wird, kann man mit Hülfe des Papinianischen Topfes, Fig. 32, zeigen.

Regnault benutzt das Sieden des Wassers unter einem bestimmten, nach Willkür veränderlichen Druck, um die Spannkraft der Dämpfe zu messen. Fig. 32, Taf. 7, stellt den dazu verwendeten Apparat dar. Der kleine Dampfkessel A, in dessen Deckel mehrere Thermometer eingelassen sind, steht durch die (mittels Wasser kalt gehaltene) Röhre CB in Verbindung mit dem in kaltem Wasser stehenden Ballon G. In dem Ballon G wird nun die Luft mittels einer bei J angeschraubten Compressionspumpe beliebig comprimirt und der entsprechende Druck an dem Manometer N abgelesen.

Während nun der Druck in G, also auch der Druck, welcher auf der Flüssigkeit in A lastet, ungeändert bleibt, wird das Wasser in A durch Feuer in O erwärmt. Die Thermometer in A steigen, bis das Wasser in A ins Sieden kommt, dann bleibt ihre Stellung constant, und man erhält so die Temperatur, welche der am Manometer abgelesenen Spannkraft entspricht.

Den normalen Siedepunkt einer Flüssigkeit kann man mit Hülfe des Apparats Fig. 21, Taf. 6, oder des Apparats Fig. 42, Taf. 6, bestimmen.

Wenn man Wasser in eine Platinschale, Fig. 43, Taf. 6, tröpfelt, welche durch eine untergesetzte Weingeistflamme glühend gemacht ist, so kommt das Wasser nicht ins Kochen, weil sich zwischen dem heißen Metall und dem Wasser eine Dampfschicht bildet, welche den Uebergang der Wärme hindert. Die Wassermasse nimmt unter fortwährend zitternder Bewegung die sternförmige Gestalt Fig. 44 an (**Leidenfrost'sche Tropfen**).

Eine ähnliche Erscheinung tritt ein, wenn man ein Gemisch von fester Kohlensäure und Aether in einen glühenden Platintiegel, Fig. 45, bringt. Die Masse bleibt so kalt, daß, wenn man einen kleinern Platintiegel mit Quecksilber in dieselbe eintaucht, das Quecksilber nach kurzer Zeit gefriert.

Beim Uebergang einer Flüssigkeit in Dampfform wird stets eine gewisse Wärmemenge gebunden; so muß man z. B. einem Pfund Wasser von 100° eine gewisse Wärmemenge zuführen, um dasselbe in Dampf von 100° zu verwandeln. Umgekehrt wird eine entsprechende Wärmemenge frei, wenn eine bestimmte Dampfmenge zur Flüssigkeit condensirt wird.

Diese Processe der Wärmebindung durch Verdampfung und des Freiwerdens der Wärme durch Condensation von Dämpfen finden in jedem **Destillirapparat** statt. In der Retorte a, Fig. 46, wird z. B. die Flüssigkeit verdampft, während die gebildeten Dämpfe in der stets kühl gehaltenen Vorlage b wieder condensirt werden. In a wird Wärme gebunden, in b wird Wärme frei. Fig. 47 stellt eine andere Form des Destillirapparats dar. Die in A gebildeten Dämpfe werden durch ein langes Glasrohr geleitet, welches von einem weitern, stets von kaltem Wasser durchströmten, umgeben ist. Fig. 48 endlich stellt einen größern Destillirapparat dar. Die im Kessel B entwickelten Dämpfe werden durch den Helm AC in das Schlangenrohr D geleitet, aus welchem unten bei O die condensirte Flüssigkeit abfließt. Das Schlangenrohr D befindet sich in einem mit kaltem Wasser gefüllten Bottich. Durch die im Schlangenrohr frei werdende Wärme wird das Kühlwasser erwärmt.

Kennt man die Quantität und die Temperaturerhöhung des Kühlwassers und die Quantität der im Schlangenrohr condensirten Flüssigkeit, so kann man danach die latente Wärme der Dämpfe berechnen. Um die zur Berechnung der latenten Wärme der Dämpfe nöthigen Data mit möglichster Genauigkeit zu erhalten, hat Regnault dem Condensationsapparat die Gestalt Fig. 49 gegeben. Die Dämpfe treten von der rechten Seite her zuerst in die Kugel A, aus dieser in B und aus B in das bei a mündende Schlangenrohr. Die condensirte Flüssigkeit wird durch den Hahn q abgelassen.

Wenn eine rasche Verdampfung stattfindet, ohne daß die dazu nöthige Wärmemenge schnell genug von außen zugeführt wird, muß eine Erkaltung stattfinden. Umwickelt man z. B. die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle, die man mit Aether tränkt, so sinkt das Thermometer unter den Gefrierpunkt, wenn man durch kräftiges Schwenken eine rasche Verdampfung bewirkt.

In ein ganz dünnwandiges Schälchen von Kupfer gieße man etwas Schwefeläther und setze es auf ein Holzbretchen, Fig. 50, auf welches man etwas Wasser gegossen hat, sodaß das Kupferschälchen unten von einer Wasserschicht umgeben ist. Wenn man nun durch vorsichtiges Blasen mit einem Blasebalg den Aether rasch verdampfen macht, so gefriert das Wasser.

In **Wollaston's Kryophor**, Fig. 51, gefriert das Wasser durch seine eigene Verdunstung. Der aus zwei, durch eine weite Glasröhre verbundenen Glaskugeln bestehende Apparat ist durch Auskochen luftleer gemacht, sodaß er außer etwas Wasser nur noch Wasserdämpfe enthält. Bringt man nun die Kugel A in eine Kältemischung, so werden hier die Dämpfe condensirt, und infolge davon findet in B eine so rasche Verdampfung statt, daß daß Wasser gefriert.

Unter die Glocke der Luftpumpe, Fig. 1, Taf. 7, setze man ein breites Gefäß mit concentrirter Schwefelsäure, welches mittels dünner Drähte ein flaches, innen berußtes, einige Wassertropfen enthaltendes Schälchen von Korkholz trägt. Wenn man nun rasch möglichst weit evacuirt und dann die Verbindung des Recipienten mit dem Stiefel der Luftpumpe unterbricht, so ist das Wasser nach einigen Minuten gefroren, weil die Schwefelsäure die Wasserdämpfe stark absorbirt und dadurch eine schnelle Verdampfung des Wassers in A bewirkt.

Je niedriger der Siedepunkt einer Flüssigkeit liegt, desto rascher verdampft sie, eine desto stärkere Erkaltung wird also durch ihre Verdampfung hervorgebracht.

Der Siedepunkt der flüssigen Kohlensäure liegt ungefähr 80° C. unter Null. Kehrt man nun den mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Recipienten Fig 40, Taf. 6, um, sodaß die Partie gtn unten ist, öffnet man dann durch Drehen der Schraube t das Ausströmungsröhrchen n, so ver-

dampft ein Theil der hier ausströmenden flüssigen Kohlensäure so rasch, daß die dadurch hervorgebrachte Kälte hinreicht, um den Rest der ausgeströmten Kohlensäure in einen festen Körper zu verwandeln; um die festgewordene Kohlensäure, die eine schneeartige Form annimmt, zu sammeln, wendet man den Apparat Fig. 2 und 3, Taf. 7, an. Zwei kurze Cylinder von Messingblech, AB und CD, welche auf der einen Seite durch einen gewölbten Boden geschlossen sind, werden so zusammengesteckt, daß sie einen geschlossenen Raum bilden. Das Ausströmungsrohr n, Fig. 40, Taf. 6, wird in die Hülse d gesteckt, sodaß durch d die Kohlensäure in das Innere des Apparats einströmt. Die Handgriffe des Apparats sind hohl, sodaß die verdampfende Kohlensäure durch die Löcher im Boden und die Höhlung der Handgriffe entweichen kann. Oeffnet man den Apparat, nachdem das Ausströmen durch d eine genügende Zeit gedauert hat, so findet man ihn mit einer schneeartigen Masse, der festen Kohlensäure, gefüllt.

IV. Specifische Wärme.

Um in gleichen Gewichtsmengen verschiedener Substanzen gleiche Temperaturerhöhung hervorzubringen, bedarf man verschiedener Wärmemengen. Um z. B. 1 Pfund Eisen um 1° C. zu erwärmen, bedarf man nur $^1/_{10}$ der Wärmemenge, welche zu einer gleichen Temperaturerhöhung von 1 Pfund Wasser nöthig ist.

Um die Ungleichheit der specifischen Wärme verschiedener Substanzen anschaulich zu machen, lege man eine Kugel von Kupfer und eine gleichschwere Kugel von Blei, welche beide in kochendem Wasser auf 100° C. erwärmt worden sind, auf eine entsprechend dicke Scheibe von Wachs, Fig. 52, Taf. 6. Die Kupferkugel wird in kurzer Zeit die Wachsplatte durchgeschmolzen haben und herabfallen, während die Bleikugel durch die von ihr abgegebene Wärme die Wachsplatte nicht ganz durchzuschmelzen vermag.

Nimmt man die Wärmemenge zur Einheit, welche nöthig ist, um 1 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen, so ist die specifische Wärme irgendeines Stoffs die nach jener Einheit gemessene Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 Gramm der Substanz gleichfalls um 1° zu erwärmen. In diesem Sinne ist $^{114}/_{1000}$ die specifische Wärme des Eisens und $^{202}/_{1000}$ die des Schwefels.

Um die specifische Wärme verschiedener Stoffe zu bestimmen, kann man verschiedene Methoden anwenden. Die Methode des Eisschmelzens läßt sich am einfachsten in folgender Weise ausführen. In einem Local, dessen Temperatur etwas unter 0° ist, höhle man einen Eisblock, Fig. 53, Taf. 6, etwas aus, werfe ein gewogenes, auf eine bestimmte Temperatur erwärmtes Stück der zu prüfenden Substanz (z. B. 1 Pfund Eisen, welches auf 100° erwärmt ist) hinein und decke die Höhlung mit einem Eisdeckel zu. Aus der Menge des Eises, welches der eingeworfene Körper zu schmelzen vermag, kann man auf seine specifische Wärme schließen.

Die Methode der Mengung führt Regnault in folgender Weise aus. Der zu untersuchende Stoff wird in Form kleiner Stückchen in ein Körbchen von dünnem Draht gebracht und mit diesem in einem Raum A Fig. 4, Taf. 7, aufgehängt, der ringsum von Dämpfen kochenden Wassers umgeben ist, welche bei a ein- und bei c austreten. Ist der in A aufgehängte Körper auf 100° erwärmt, so wird er herabgelassen und in das Kühlwasser des Gefäßes D gebracht, welches dann sogleich unter dem Erwärmungsapparat hervorgezogen wird. Aus der Temperaturerhöhung, welche das Kühlwasser in D durch die Abkühlung der hineingesenkten Substanz erleidet, kann man auf die specifische Wärme der letztern schließen. Fig. 5 ist eine äußere Ansicht des eben besprochenen Regnault'schen Apparats.

Kopp führt die Mengungsmethode in anderer Form aus. Eine gewogene Menge der zu behandelnden Substanz wird in Form kleiner Stückchen in ein Glasröhrchen, Fig. 6, Taf. 7, gebracht und dann eine Flüssigkeit von bekannter specifischer Wärme, etwa Steinöl daraufgegossen. Nachdem auch das Gewicht dieser Flüssigkeit ermittelt ist, wird die Röhre sammt ihrem Inhalt in das Quecksilber des Gefäßes B eingetaucht, welches durch ein Oelbad auf einer constanten Temperatur von 50 bis 60° erhalten wird. Hat die Röhre sammt Inhalt diese Temperatur angenommen, so wird sie rasch in das Wasser des Calorimeters D, Fig. 7, eingetaucht und die Temperaturerhöhung beobachtet, welche durch die Abkühlung in der gewogenen Wassermasse des Calorimeters D hervorgebracht wird.

Das wichtigste Resultat der Untersuchungen über specifische Wärme ist das von Dulong und Petit aufgestellte Gesetz, daß für chemisch einfache Stoffe in fester Form, die specifische Wärme dem Atomgewicht umgekehrt proportional ist.

Um die specifische Wärme der Gase zu untersuchen, wandte Regnault einen Apparat an, der zum Theil in Fig. 8, Taf. 7, dargestellt ist. In einem 30 Liter haltenden Ballon von starkem Kupferblech wird das zu untersuchende Gas stark comprimirt. Aus diesem Behälter strömt es nun durch die Röhren a und c in das Schlangenrohr des Erwärmungsapparats O. Dieses Schlangenrohr ist mit Oel umgeben, welches durch eine untergesetzte Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wird. Aus dem Schlangenrohr in O tritt das Gas mit einer am Thermometer T abzulesenden Temperatur in das Schlangenrohr des Calorimeters C, welches mit kaltem Wasser umgeben ist, dessen Temperatur allmählich durch die Abkühlung des durchstreichenden Gases erhöht wird.

Eine bei R angebrachte Vorrichtung macht es möglich, daß das Gas längere Zeit hindurch mit gleichförmigem, am Manometer M abzulesendem Druck durch den Apparat hindurchstreicht. Die Quantität des in einer bestimmten Zeit durch den Apparat streichenden Gases ergibt sich, wenn man die Spannkraft des im großen Ballon befindlichen Gases zu Anfang und zu Ende des Versuchs mißt, vorausgesetzt, daß man das Volumen des Ballons genau kennt.

Bei gleichem Druck ist die specifische Wärme gleicher Volumina für alle Gasarten dieselbe.

V. Wärmestrahlung.

Jeder heiße oder warme Körper sendet Wärmestrahlen aus, welche durch Luft und andere Körper in ähnlicher Weise hindurchgehen, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper.

Die Wärmestrahlen, welche durch einen Körper hindurchgehen, erwärmen denselben nicht; erst wenn sie von einem Körper absorbirt, verschluckt werden, werden sie in fühlbare Wärme verwandelt. Dies läßt sich mit Hülfe zweier metallener Hohlspiegel, Fig. 9, Taf. 7, nachweisen, welche in einer Entfernung von 10—20 Fuß so aufgestellt sind, daß ihre Axen in eine gerade Linie zusammenfallen. Bringt man in den Brennpunkt des einen Spiegels eine weißglühende Eisenkugel, in den Brennpunkt des andern ein Stück Zunder, so geräth dieser in Brand. Dieser Versuch beweist zugleich, daß die Wärmestrahlen nach denselben Gesetzen reflectirt werden, wie die Lichtstrahlen.

Um genauere Versuche über strahlende Wärme zu machen, wandte man früher Leslie's Differentialthermometer, Fig. 10, an. Zwei Glaskugeln, welche nur verdünnte Luft enthalten, sind durch eine Glasröhre verbunden, deren Gestalt man aus der Figur ersieht. Ungefähr in der Mitte der Röhre befindet sich ein kleines Flüssigkeitssäulchen, welches bei Erwärmung der einen Kugel gegen die andere hingetrieben wird. Die Kugeln sind mit Kienruß überzogen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt, sodaß schon eine geringe Wärmestrahlung, welche eine solche Kugel trifft, eine merkliche Erwärmung hervorbringt.

Noch empfindlicher und sicherer in seinen Angaben ist Melloni's Thermomultiplicator. Er besteht aus zwei Theilen, einer thermo-elektrischen Säule, Fig. 59, Taf. 6, welche erst in der Elektricitätslehre besprochen werden kann, und einem Multiplicator, dessen nähere Betrachtung bis zur Lehre vom Elektromagnetismus verschoben werden muß. Hier genügt die Bemerkung, daß der Multiplicator aus zwei an einem einfachen Seidenfaden aufgehängten Magnetnadeln besteht, deren untere von zahlreichen Windungen übersponnenen Kupferdrahts umgeben ist. Sobald ein schwacher elektrischer Strom durch die Drahtwindungen hindurchgeht, wird das Nadelpaar aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt.

Wie ein solcher Multiplicator mit dem Melloni'schen Apparat verbunden ist, sieht man in Fig. 11, Taf. 7, wo p die in eine Messinghülse gefaßte Thermosäule und M den Multiplicator darstellt. Von jedem Pole der Thermosäule geht ein Verbindungsdraht zu einem Ende der Multiplicatorwindungen. Die Thermosäule ist nun auf der einen Seite mit einer cylindrischen Hülse a, auf der andern mit einer konischen Hülse b versehen. Die Hülse, durch welche Wärmestrahlen auf die Thermosäule fallen sollen, ist offen, die andere ist durch einen Deckel geschlossen, wie b in unserer Figur.

Läßt man nun von der einen Seite her Wärmestrahlen auf die Thermosäule fallen, so entsteht ein elektrischer Strom, welcher eine mehr oder minder bedeutende Ablenkung der Magnetnadel im Multiplicator bewirkt.

Es wird nun der Thermosäule gegenüber ein Hohlwürfel H, Fig. 11, von Messingblech aufgestellt, welcher durch eine untergestellte Weingeistlampe kochend erhaltenes Wasser enthält. Die eine Seite dieses Würfels ist mit Ruß überzogen, eine zweite ist polirt. Beträgt die Ablenkung des Multiplicators 30°, wenn die berußte Seite der Thermosäule zugekehrt ist, so geht sie auf 4° zurück, wenn man die polirte Seite des Würfels der Thermosäule zukehrt. Die berußte Fläche hat also ein stärkeres Ausstrahlungsvermögen, als die polirte Metallfläche.

Die Fähigkeit verschiedener Substanzen, die Wärmestrahlen durchzulassen, ist sehr ungleich. Solche Körper, welche die Wärmestrahlen gut durchlassen, nennt man diatherman, durchwärmig, solche dagegen, welche die Wärmestrahlen nicht durchlassen, heißen atherman.

Fig. 12 stellt den Melloni'schen Apparat dar, wie er arrangirt ist, um die Diathermanität verschiedener Substanzen zu vergleichen. Vor der Wärmequelle, als welche entweder eine kleine Oellampe L mit metallischem Reflector, oder der mit heißem Wasser gefüllte Hohlwürfel H, oder das durch eine Weingeistlampe auf ungefähr 400° erwärmte, geschwärzte Kupferblech, Fig. 13, u. s. w. dienen kann, ist ein Schirm s aufgestellt, welcher mit einer kreisförmigen Oeffnung versehen ist, hinter dieser Oeffnung wird dann eine Platte r der zu prüfenden Substanz aufgestellt.

Derartige Versuche haben nun ergeben, daß Steinsalz der einzige feste Körper ist, welcher Strahlen aller Wärmequellen gleichgut durchläßt, welcher also vollkommen diatherman ist.

Glas läßt nur 39 Procent der von dem Oellämpchen, und nur 6 Procent der von dem erhitzten Kupferblech kommenden Strahlen durch, während die vom Hohlwürfel H kommenden Strahlen fast gar nicht mehr vom Glas durchgelassen werden. Aehnlich verhalten sich andere durchsichtige Körper, sie absorbiren vorzugsweise die Strahlen dunkler Wärmequellen.

Die Luft ist so vollkommen diatherman, daß eine Luftsäule von 10 bis 20 Fuß Länge kaum eine merkliche Absorption von Wärmestrahlen bewirkt. Andere durchsichtige Gase aber üben wenigstens auf dunkle Wärmestrahlen eine bedeutende Absorption aus. Auf die eine Seite eines ungefähr 2 Fuß langen Blechrohrs, Fig. 14, stelle man die Thermosäule auf, an dem andern Ende des Rohrs aber das durch eine Weingeistlampe auf 400° erwärmte Kupferblech, Fig. 13, so werden die von dem heißen Blech durch die Luft im Rohr auf die Thermosäule fallenden Strahlen eine namhafte Ablenkung der Multiplicatornadel bewirken. Sobald man aber durch ein Gummirohr bei o Leuchtgas in das Rohr eintreten läßt, findet ein bedeutender Rückgang der Multiplicatornadel statt.

Die Brechbarkeit der Wärmestrahlen läßt sich mit Hülfe des in Fig. 15 dargestellten Arrangements des Melloni'schen Apparats zeigen, bei welchem freilich der Hohlwürfel H in den meisten Fällen durch die kleine Oellampe L, Fig. 12, zu ersetzen ist.

Um die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum zu studiren, wendet man statt der Thermosäulen mit quadratischen Endflächen lineare Thermosäulen an, d. h. solche, bei welchen ungefähr 15 Thermoelemente in einer Ebene liegen. Fig. 16 stellt eine solche lineare Thermometersäule in ihrer Fassung dar. Erzeugt man nun mittels eines Prismas ein Sonnenspectrum, so zeigt sich kaum eine Spur von Wärmewirkung, wenn man die Thermosäule am violetten Ende des Spectrums aufstellt. Die Wärmewirkung wächst aber um so mehr, je weiter man die Thermosäule gegen das rothe Ende des Spectrums verschiebt, wie dies durch die thermische Intensitätscurve, Fig. 17, erläutert wird, welche über dem Spectrum gezeichnet ist. In dem sichtbaren Theil des Spectrums sind der Orientirung wegen die wichtigsten Fraunhofer'schen Linien eingetragen. Mit dem rothen Ende des Spectrums hört aber die Wärmewirkung keineswegs auf, sie erstreckt sich noch so weit über das sichtbare Spectrum hinaus, ja das Maximum der Wärmewirkung fällt noch über die rothe Grenze des sichtbaren Spectrums hinaus, wie man aus dem Verlauf der beiden Intensitätscurven sieht, von denen die untere einem Glas-, die obere einem Steinsalzprisma entspricht. In Fig. 18 sind die Intensitätscurven I des optischen, II des chemischen und III des thermischen Spectrums zusammengestellt.

VI. Wärmeleitung.

Um die ungleiche Wärmeleitung verschiedener Stoffe anschaulich zu machen, dient der Apparat Fig. 54, Taf. 6, von Ingenhouß. In die eine Seitenwand eines Blechkastens sind mehrere aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben und mit einer Schicht von Wachs überzogen sind. Wenn man nun kochendes Wasser in den Kasten gießt, so wird die Wachsschicht auf den einzelnen Stäbchen in gleicher Zeit um so weiter weggeschmolzen sein, je besser leitend das Stäb-

chen ist. Wenn auf dem Kupferstäbchen die Wachsschicht bereits bis ans Ende weggeschmolzen ist, ist die Schmelzung auf dem Eisenstäbchen ungefähr nur bis auf die Hälfte, auf einem Bleistäbchen nur bis auf ein Drittel der Stablänge vorgedrungen, während sie auf einem Glas- oder Holzstäbchen kaum begonnen hat.

Wenn ein Metallstab AB, Fig. 19, Taf. 7, an einem Ende von einer constanten Wärmequelle erhitzt wird, so wird sich die Wärme allmählich in demselben verbreiten; anfangs wird seine Temperatur an allen Stellen steigen, nach einiger Zeit aber hört dies Steigen auf, und der Stab zeigt dann überall eine constante Temperatur, welche mit der Entfernung von der Wärmequelle abnimmt. Diese Temperaturabnahme ist um so rascher, je schlechter die Substanz des Stabes die Wärme leitet. Um die Temperatur des Stabes an verschiedenen Stellen zu ermitteln, sind Löcher in denselben eingebohrt, welche Quecksilber enthalten und in welche man Thermometer einsenkt.

Hält man ein Drahtgitter, Fig. 20, in eine Flamme, etwa in eine Gasflamme, so erscheint diese wie abgeschnitten. Unten brennt das Gas, über dem Drahtnetz aber nicht, obgleich das Gas frei durch die Maschen hindurchgeht. Läßt man das nicht brennende Gas durch die Maschen des Netzes hindurchgehen, um es oberhalb desselben anzuzünden, Fig. 21, so sieht man oberhalb die Gasflamme, während das Gas unterhalb des Netzes nicht brennt. Die Entzündung kann sich durch das Drahtnetz nicht fortpflanzen, weil dasselbe als guter Wärmeleiter zu viel Wärme seitlich ableitet.

Darauf gründet sich Davy's Sicherheitslampe, Fig. 22 und 23. Hier ist die Flamme eines Oellämpchens ringsum von einem Cylinder von Drahttuch umgeben, durch welchen sich die Entzündung nach außen nicht fortpflanzen kann, wenn man sich auch in einer Atmosphäre befindet, welche, wie das in Kohlenbergwerken vorkommt, mit brennbaren Gasen gemengt ist.

Die Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter. Wenn man ein Gefäß mit Wasser von unten her erwärmt, so theilt sich allerdings die Wärme ziemlich rasch der ganzen Wassermasse mit; diese Mittheilung geschieht aber nicht durch Leitung, sondern sie wird durch Strömungen vermittelt, wie man sehen kann, wenn man das Wasser eines Glasgefäßes, Fig. 55, Taf. 6, welchem man einige Sägespäne zugesetzt hat, durch eine untergesetzte Weingeistlampe erwärmt. In der Mitte steigen die erwärmten und dadurch specifisch leichter gewordenen Wassertheilchen in die Höhe, während das kältere Wasser seitlich niederströmt.

Soll sich die Wärme nur durch Leitung im Wasser verbreiten, so muß man es von oben erwärmen, dann aber schreitet auch die Erwärmung sehr langsam vor. In die eine Seitenwand eines aus dünnem Blech verfertigten Gefäßes, Fig. 56, wird mittels eines Korks ein Thermometer eingesetzt und dann das Gefäß so weit voll Wasser gegossen, daß sich die Thermometerkugel 1 bis 2 Linien tief unter dem Wasserspiegel befindet. Gießt man nun heißes Oel auf das Wasser oder etwas Weingeist, den man anzündet, so wird es doch geraume Zeit dauern, bis das Thermometer nur um 1° steigt.

Ein anderer Versuch, welcher die schlechte Leitungsfähigkeit des Wassers erläutert, ist der in Fig. 24, Taf. 7, dargestellte. In ein mit möglichst kaltem Wasser gefülltes, etwas langes Reagenzröhrchen wirft man ein Stückchen Eis, welches mit Draht umwickelt ist, damit es zu Boden sinkt. Man kann dann das Wasser am obern Ende des Röhrchens ins Kochen bringen, ohne daß unten ein merkliches Wegschmelzen des Eises stattfindet.

Gase sind schlechte Wärmeleiter, obgleich sich die Wärme in ihnen leicht durch Strömung und Strahlung verbreitet. Die Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Gase ist übrigens sehr ungleich und namentlich Wasserstoffgas ein viel besserer Wärmeleiter als Luft, Kohlensäure u. s. w. Fig. 25 stellt zwei Glasröhren dar, deren eine Wasserstoffgas enthält, während die andere mit Luft oder Kohlensäure gefüllt ist. Die Gase sind durch Quecksilber gesperrt. a und a' sind zwei gleich lange und dicke Platindrähte, welche durch dickere Zuleitungsdrähte in den Schließungsbogen einer Volta'schen Säule eingefügt sind. Wenn man einen Strom durch diese Drähte sendet, so kommt zuerst der von Luft oder Kohlensäure umgebene ins Glühen, während der von Wasserstoff umgebene noch dunkel bleibt.

VII. Wärmeerzeugung durch mechanische Mittel.

Jede Compression der Gase ist von einer Wärmeentwickelung, jede Expansion ist von einer Temperaturerniedrigung begleitet. Es läßt sich dies sehr schön mit Hülfe des Silbermann'schen Apparats, Fig. 26, zeigen. In einem metallenen Cylinder läßt sich ein luftdicht schließender Kolben auf- und abschieben. In dem untern Theil des Apparats sind Oeffnungen angebracht, die durch Glasplatten luftdicht geschlossen sind, und durch welche man ein im Innern befindliches Breguet'sches Metallthermometer beobachten kann. Ist der Apparat mit Luft oder einem andern Gase gefüllt und die Communication mit der äußern Luft vollkommen abgesperrt, so wird beim Niederdrücken des Kolbens das Thermometer steigen, es wird fallen, wenn man den hinabgedrückten Kolben wieder in die Höhe zieht.

Bei hinlänglich starker und rascher Compression der Luft kann die Temperaturerhöhung bedeutend genug werden, um Zunder in Brand zu setzen, wie man mit Hülfe des pneumatischen Feuerzeugs, Fig. 57, Taf. 6, zeigen kann. Der Zunder wird in die untere Höhlung des Kolbens eingesteckt, welchen Fig. 58 in größerm Maßstabe zeigt.

Wird die Luft in einem Ballon A, Fig. 27, Taf. 7, etwas verdünnt, so wird in dem mit dem Innern von A communicirenden und in ein Gefäß mit Wasser eingetauchten Glasrohr d das Wasser bis zu einer bestimmten Höhe aufsteigen. Oeffnet man nun momentan den etwas weit gebohrten Hahn c, so wird sich augenblicklich das Gleichgewicht mit der äußern Luft wiederherstellen, das Wasser in d sinkt sogleich bis auf das Niveau im äußern Gefäß. Bleibt nun aber der Hahn c geschlossen, so steigt das Wasser wieder etwas in d, weil das rasche Eindringen von Luft durch c von einer Verdichtung, also auch mit einer Temperaturerhöhung der Luft in A begleitet ist. Wenn sich nun diese Temperaturerhöhung allmählich verliert, so muß das Wasser in d wieder etwas steigen.

Wenn man in einen starken, mit Draht überflochtenen Glasballon, Fig. 28, einige Tropfen Wasser bringt, dann die Luft in demselben mittels der Compressionspumpe bis auf ungefähr 3 Atmosphären comprimirt und den so präparirten Ballon an einem warmen Orte einige Zeit lang ruhig liegen läßt, so wird sich beim Oeffnen des Hahns der ganze Ballon mit Nebel füllen, weil bei dem Ausströmen der Luft eine solche Erkaltung erfolgt, daß ein Theil der Wasserdämpfe, welche sich im Ballon gebildet hatten, condensirt wird.

Auch durch die Compression anderer Körper wird Wärme erzeugt, wie z. B. die starke Erhitzung beim Prägen der Münzen zeigt. Eine andere wichtige mechanische Quelle der Wärme ist die Reibung. Auf Reibung beruht das Feuermachen mit Stahl und Stein, mit Streichhölzchen u. s. w. Wilde Völker machen Feuer

durch Reiben trockener Holzstücke. Fig. 29 erläutert eine Vorrichtung, deren sich die Dacota-Indianer bedienen, um Feuer zu machen. Ein Stab ab von trockenem hartem Holz wird zwischen zwei Breter A und B eingesetzt, welche mit einer kleinen Vertiefung zur Aufnahme der Stabenden versehen sind; das obere Bret wird schwach aufgedrückt und dann der Stab durch die in der Figur ersichtliche Vorrichtung in rasche Rotation versetzt. Sobald sich Feuer zeigt, nähert eine zweite Person ein Stück Zunder.

Rumford brachte durch die beim Bohren einer Kanone frei werdende Wärme Wasser ins Kochen. In kleinem Maßstab läßt sich dies auch mit der Vorrichtung Fig. 30 erreichen. In ein Messingröhrchen a, welches auf die Rotationsaxe einer Schwungmaschine aufgeschraubt ist, wird heißes Wasser eingegossen und dann dasselbe mit einem Kork geschlossen. Wird nun das Rohr zwischen zwei Holzbacken gefaßt, welche mit Rinnen versehen sind, in welche das Röhrchen paßt, und dann die Maschine rasch gedreht, so wird nach einigen Minuten das Wasser bis zum Sieden erhitzt sein, sodaß die gebildeten Dämpfe den Kork wegschleudern.

Einerseits kann also durch mechanische Arbeit Wärme producirt, andererseits kann durch Wärme mechanische Arbeit geleistet werden, wie wir z. B. an der Dampfmaschine sehen, es muß also ein bestimmtes Größenverhältniß zwischen mechanischer Arbeit und Wärmeproduction bestehen. Um das mechanische Aequivalent der Wärme zu bestimmen, sind eine Reihe von Versuchen in sehr verschiedener Weise ausgeführt worden; einer der einfachsten wird durch Fig. 31 erläutert. Ein schwerer eiserner Cylinder A ist an 3 Meter langen Seilen aufgehängt; ihm gegenüber hängt ein schwerer Block von Sandstein. Zwischen beiden befindet sich ein Stück Blei. Wird nun der eiserne Cylinder aus der Lage A bis A′ zurückgezogen und dann losgelassen, so wird er herabfallen und einen gewaltigen Stoß gegen das Bleistück ausüben, welches dadurch zusammengedrückt und erwärmt wird. Einerseits kennt man hier die mechanische Kraft des Stoßes, andererseits kann man die Temperaturerhöhung des Bleistücks messen, also die durch den Stoß entwickelte Wärmemenge ermitteln und danach das mechanische Aequivalent der Wärme berechnen.

Derartige Bestimmungen bilden den Ausgangspunkt der mechanischen Wärmetheorie, derzufolge die Wärme nicht mehr der ruhenden Gegenwart eines imponderabeln Wärmestoffes, sondern einer intensiven Vibrationsbewegung der Körperatome zugeschrieben wird.

E. Magnetismus.

(Tafel 8.)

Schon im Alterthum kannte man Eisenerze, welche die Eigenschaft besaßen, Eisen anzuziehen; man nannte sie Magnete, weil sie vorzugsweise in der Nähe der Stadt Magnesia in Kleinasien gefunden wurden.

Das Magneteisen besteht aus gleichen Aequivalenten Eisenoxyd und Eisenoxydul.

Solche Stücke dieses Erzes, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, nennt man natürliche Magnete. Wälzt man sie in Eisenfeile, so bleibt diese an vielen Stellen ihrer Oberfläche in Form von mehr oder weniger großen Büscheln hängen; doch zeigt sich die anziehende Kraft, welche der Magnet auf das Eisen ausübt, keineswegs an allen Stellen seiner Oberfläche gleich stark.

Dieselbe Eigenschaft, Eisen anzuziehen, kann man aber auch dem Stahl mittheilen. Solche Stahlmagnete, welche man im Gegensatz zu den eben besprochenen als künstliche Magnete bezeichnet, bieten den großen Vortheil, daß man ihnen beliebige und für die Untersuchung geeignete Formen geben kann. Wenn man einen gehärteten Stahlstab nach einer der später zu besprechenden Methoden magnetisirt hat und ihn mit Eisenfeile bestreut, so bleibt diese vorzugsweise an den Enden, den Polen, hängen, wie Fig. 1 auf Taf. 8 zeigt. In der Mitte fällt die Eisenfeile vollständig ab.

Jeder Magnet hat eine neutrale Mittellinie und zwei Pole. Diese beiden Pole sind aber durchaus nicht gleichartiger Natur. Um dies nachzuweisen, bedarf man beweglicher Magnete, welche man dadurch erhält, daß man einen in einer dünnen Messinghülse liegenden Magnet an einem ungedrehten Faden aufhängt, wie Fig. 2 zeigt, oder daß man eine Magnetnadel, Fig. 3, so auf eine Stahlspitze aufsetzt, daß sie sich in horizontaler Ebene frei drehen kann.

Nähert man nun einen und denselben Pol eines Magnetstabes, den wir mit A bezeichnen wollen, zuerst dem Pole n, dann dem Pole s des Magnetstabes Fig. 2 oder der Magnetnadel Fig. 3, so sieht man, daß der eine Pol des beweglichen Magnets von A angezogen, der andere aber von A abgestoßen wird.

Man stelle nun zwei Magnetnadeln, etwa von der in Fig. 3 dargestellten Art, in einiger Entfernung voneinander auf, ermittele an jeder denjenigen Pol, der von A angezogen wird, und bezeichne ihn durch Anstecken eines weißen Papierscheibchens, wie Fig. 4 andeutet, so wird der andere Pol einer jeden dieser beiden Magnetnadeln, welcher etwa durch ein schwarzes Papierscheibchen zu bezeichnen ist, von A abgestoßen werden. Die weißgezeichneten Pole der beiden Magnetnadeln sind also gleichnamig, d. h. gleichartig, ebenso wie die beiden schwarzgezeichneten.

Hebt man nun eine der beiden Magnetnadeln von ihrer Spitze ab, um sie der andern, noch auf ihrer Spitze spielenden zu nähern, so findet man alsbald, daß die beiden weißen Pole einander abstoßen und ebenso die beiden schwarzgezeichneten, daß aber zwischen einem weißgezeichneten Pole und einem schwarzgezeichneten Anziehung stattfindet.

Gleichnamige Pole stoßen sich also ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an.

Aus später anzuführenden Gründen nennt man den einen Pol eines Magnets den Nordpol, den andern aber den Südpol.

Zur Erklärung der eben besprochenen magnetischen Erscheinungen nimmt man an, daß es im Eisen und im Stahl zwei imponderable Fluida (das nordmagnetische und das südmagnetische Fluidum) gebe, welche die Eigenschaft haben, daß die Theilchen eines und desselben Fluidums sich gegenseitig abstoßen, während zwischen den Theilchen des einen Fluidums und denen des andern eine Anziehung stattfindet.

Wenn man ein dünnes hartes Magnetstäbchen (etwa eine magnetisirte Stricknadel) in der Mitte durchbricht, so ist jedes der beiden Stücke wieder ein vollständiger Magnet, der einen Nordpol und einen Südpol hat.

Fährt man mit Durchbrechen fort, so hat jedes Stückchen wieder seine zwei Pole, Fig. 5, jedes noch so kleine Stückchen ist also ein vollständiger Magnet. Daraus folgt, daß jedes einzelne Stahlpartikelchen für sich schon ein vollständiger Magnet, d. h. daß die eine Hälfte eines jeden Stahlpartikelchens mit nordmagnetischem, die andere Hälfte aber mit südmagnetischem Fluidum geladen ist. Man hat sich also einen vollständig magnetisirten Stahlmagnet ungefähr so vorzustellen, wie Fig. 6 anschaulich macht.

Ein Eisenstab wird durch die Einwirkung eines Magnets gleichfalls in einen Magneten verwandelt

Man klemme einen vier bis fünf Zoll langen Eisenstab in ein passendes Stativ, Fig. 7, und nähere von oben einen kräftigen Magnetpol, während man das untere Ende des Eisenstabes in Eisenfeile taucht. Es bleibt dann ein Büschel Eisenfeile an dem untern Ende hängen, ein Beweis, daß der Eisenstab wirklich selbst zum Magnet geworden ist. Wenn man nun aber den Magnetpol oben langsam wegzieht, so fällt die Eisenfeile ab, der Eisenstab verliert also seinen Magnetismus sogleich wieder, wenn die magnetisirende Kraft entfernt wird.

Ersetzt man bei diesem Versuch den Eisenstab durch einen gehärteten Stahlstab, so werden kaum einzelne Spänchen der Eisenfeile hängen bleiben, der Stahl läßt sich also nicht so leicht magnetisiren, wie das Eisen. Wenn man aber den Stahlstab durch wiederholtes Streichen an einem kräftigen Magnetpol einmal magnetisch gemacht hat, so verliert er seinen Magnetismus auch nicht so leicht, wie ein Eisenstab.

Man benutzt die Eigenschaft des Eisens, durch Berührung mit einem Magneten leicht magnetisch zu werden, um durch eiserne Ansatzstücke, welche den Namen **magnetische Armaturen** führen, den Magnetismus natürlicher oder künstlicher Magnete in zweckmäßiger Weise zur Wirkung zu bringen.

So wird z. B. an jede der Polflächen eines natürlichen Magnets eine ungefähr 1 Linie dicke Eisenplatte (die **Flügel**) l und l', Fig. 8 und Fig. 9, angelegt und durch messingene Bänder befestigt, welche unten in den hervorragenden Eisenstücken p und p' (den **Füßen**) enden. Durch den magnetisirenden Einfluß des natürlichen Magnets werden die beiden Füße zu entgegengesetzten Magnetpolen gemacht, an die man nur einen eisernen Anker anzusetzen braucht, um eine ziemlich bedeutende Tragkraft zu erzielen.

Um bei künstlichen Magneten eine möglichst große Tragkraft zu erzielen, gibt man ihnen eine U-förmige Gestalt, Fig. 10. Solche **Hufeisenmagnete** bestehen entweder aus einer einzigen Stahl-Lamelle, oder sie sind aus mehrern Lamellen zusammengesetzt. Setzt man den aus weichem Eisen gebildeten Anker m m an, so wird sowol der Pol S als auch der Pol N im Anker einen Südpol in s und einen Nordpol in n zu erzeugen streben, jeder Pol des Hufeisenmagnets unterstützt die Wirkung des andern.

Man benutzt auch eiserne Armaturen zur Erhaltung und Kräftigung des Magnetismus in Stahlstäben. Zwei gleiche Magnetstäbe NS und N'S', Fig. 11, werden parallel so nebeneinandergelegt, daß der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist, wie der Südpol des andern und fügt dann zwei Stücke weichen Eisens ab und cd so an, daß dadurch das Rechteck geschlossen wird.

Die Wirkung eines Magnetpols nimmt, wie alle von einem Punkte ausgehenden Fernwirkungen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung ab, d. h. in der doppelten, dreifachen, vierfachen u. s. w. Entfernung ist seine magnetische Wirkung 2 · 2 oder 4 mal, 3 · 3 oder 9 mal, 4 · 4 oder 16 mal u. s. w. schwächer.

Von diesem für die einzelnen Magnetpole geltenden Gesetze ausgehend haben Gauß und Weber nachgewiesen, daß die Totalwirkung eines Magnets in die Ferne im umgekehrten Verhältniß der dritten Potenz der Entfernung abnimmt, daß sie also in der doppelten Entfernung 2 · 2 · 2 oder 8 mal, in der dreifachen Entfernung 3 · 3 · 3 oder 27 mal geringer ist, vorausgesetzt, daß die Dimensionen des Magnets sehr klein sind im Verhältniß zu der Entfernung des Punktes, auf den er wirkt. Dies Gesetz der Totalwirkung eines Magnets läßt sich mit der Vorrichtung Fig. 12 prüfen, auf welche wir später zurückkommen.

Es ist schon davon die Rede gewesen, daß ein Stahlstab durch wiederholtes Streichen an einem Magnetpol magnetisch wird. Die einfachste Streichungsmethode ist folgende: Man streiche wiederholt (10, 20, 50 mal) die eine Hälfte des Stahlstabes, welche ein Nordpol werden soll an dem Südpol eines kräftigen Magnets, mit der andern Hälfte des Stahlstabes aber in gleicher Weise an dem Nordpol desselben, wie dies Fig. 13 andeutet, also so, daß man den Stahlstab mit seiner Mitte auf den Magnetpol aufsetzt und ihn dann in der Richtung des Pfeils von demselben abzieht.

Härtere und größere Stahlstäbe werden nach diesem Verfahren magnetisirt, indem man sie in der angegebenen Weise an den Polen eines kräftigen **Elektromagnets** streicht.

Es bleibt uns jetzt noch die Wirkung zu besprechen übrig, welche der **Erdkörper** auf Magnete ausübt. — Wenn man einen Magnetstab (oder eine Magnetnadel), welcher so aufgehängt ist, daß er sich in horizontaler Ebene frei drehen kann, also den Magnetstab Fig. 2 (oder die Magnetnadel Fig. 3) sich selbst überläßt, so stellt er sich immer in einer bestimmten Lage ein und zwar so, daß die verlängerte Magnetaxe stets nach einem bestimmten Punkte des Horizontes hinweist. Aus dieser Gleichgewichtslage herausgebracht, oscillirt der Stab eine Zeit lang um seine Gleichgewichtslage, um endlich wieder in derselben zur Ruhe zu kommen.

Das eine Ende der Magnetnadel weist in unsern Gegenden ungefähr nach Norden, das andere ungefähr nach Süden, weshalb denn auch der eine (nach Norden zeigende Pol) der Nordpol, der andere der Südpol der Magnetnadel genannt wird.

Denkt man sich durch die beiden Pole der in ihrer Gleichgewichtslage befindlichen horizontalen Magnetnadel eine Verticalebene gelegt, so ist dies der **magnetische Meridian**. Wenn die Magnetnadel genau nach Norden schaute, so würde der magnetische Meridian mit dem astronomischen zusammenfallen. Es ist dies aber für die meisten Orte der Erde nicht der Fall; der magnetische Meridian macht mit dem astronomischen meistens einen Winkel, welcher die magnetische **Declination** oder **Abweichung** genannt wird. Die Declination ist **östlich** oder **westlich**, je nachdem das Nordende der Nadel östlich oder westlich vom astronomischen Meridian liegt. Stellt z. B. s n, Fig. 14, den astronomischen Meridian, ab aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel in ihrer Gleichgewichtslage dar, so ist die Declination eine westliche.

Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heißt eine **Declinationsbussole**, während man mit dem Namen einer **Bussole** überhaupt eine Magnetnadel bezeichnet, deren Umdrehungsaxe den Mittelpunkt eines getheilten Kreises bildet.

Nach diesen Erklärungen können wir nun auch zur Betrachtung des Apparates Fig. 12 zurückkehren. Ein 1 Meter langer in halbe Decimeter getheilter Stab wird rechtwinklig zum magnetischen Meridian gelegt und auf die Mitte desselben eine kleine Bussole gesetzt. Die Nadel der Bussole wird sich, wenn weiter keine magnetische Kraft auf sie einwirkt, in den magnetischen Meridian einstellen und auf den Nullpunkt der Theilung zeigen. Wird nun aber ein kräftiger, 1 Decimeter langer Magnetstab, n s, auf den Stab aufgelegt, so wird dieser eine Ablenkung der Nadel aus dem magnetischen Meridian bewirken und zwar eine 8 mal oder 27 mal kleinere, wenn man ihn in die zweifache oder dreifache Entfernung von der Nadel bringt.

Fig. 15 stellt eine Declinationsbussole der einfachsten Art dar. Die Spitze, auf welcher die Nadel aufgesetzt ist, bildet den Mittelpunkt eines in Grade getheilten Horizontalkreises, welcher um eine verticale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich von dem Nullpunkt des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstrich 180 gezogen denken kann. Wenn man den Apparat so stellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder andern Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angibt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs macht. Wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, welchen Winkel der magnetische Meridian mit dem astronomischen macht, oder mit andern Worten, wie groß die magnetische Abweichung ist.

Dieses Instrument kann überhaupt als Winkelmeßinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit bestimmen kann, welchen Winkel die Visirlinie des Fernrohrs mit dem magnetischen Meridian macht. Die Bussole wird vorzugsweise zum Winkelmessen bei unterirdischen Arbeiten, also z. B. in Bergwerken benutzt. Auch der *Kompaß* der Seefahrer ist eine Declinationsbussole, wenn auch von etwas abgeänderter Construction.

Im mittlern Deutschland ist die Declination eine westliche und zwar beträgt sie ungefähr 17°. Nach Osten hin nimmt die westliche Declination ab, um an der Grenze zwischen Europa und Asien Null zu werden und dann in eine östliche Declination überzugehen. Von Deutschland aus nimmt nach Westen hin die westliche Declination noch zu, um über eine gewisse Grenze hinaus wieder abzunehmen. Im größten Theile von Asien und dem westlichen Theile von Amerika ist die Declination eine östliche.

Der Erdkörper übt also auf die Magnetnadel eine richtende Kraft aus, die Erde wirkt also wie ein großer Magnet. Seinen Hauptzügen nach verhält sich der Erdmagnetismus ungefähr so, als ob der Erdkörper in seinem Innern einen großen Magneten enthielte, ungefähr so, wie es Fig. 16 darstellt. In dieser Figur stellt N S die Umdrehungsaxe der Erde, also N den Nordpol, S den Südpol dar. Die punktirten Ellipsen sind größte Kreise, welche durch den Nord- und den Südpol der Erde geben, also astronomische Meridiane. Der ideale Magnet A B, den wir uns im Innern der Erde denken wollen, um die Erscheinungen des Erdmagnetismus zu erklären, fällt aber nicht mit der Erdaxe zusammen, sondern er macht einen Winkel mit derselben, sodaß die verlängerte Axe des Erdmagnets A B die Erdoberfläche in zwei Punkten M N und M S trifft, welche wir als magnetische Pole der Erde bezeichnen wollen und welche, wie man sieht, nicht mit den Umdrehungspolen der Erde zusammenfallen.

Denken wir durch irgendeinen Punkt a der Erdoberfläche und die beiden magnetischen Pole der Erde M N und M S einen größten Kreis gelegt, so ist dies der magnetische Meridian für a, und man sieht, daß der magnetische Meridian für a mit dem astronomischen Meridian S a N einen Winkel macht, und dieser Winkel ist eben die magnetische Declination für den Punkt a.

So regelmäßig, wie es nach der durch Fig. 16 erläuterten Hypothese sein müßte, zeigen sich aber die Erscheinungen der Declination auf der Erdoberfläche durchaus nicht. Nach den zahlreichen Beobachtungen der magnetischen Declination, die zu Wasser und zu Lande an den verschiedensten Orten der Erdoberfläche angestellt worden sind, hat man Karten entworfen, auf welchen die *isogonischen Curven* gezogen sind, d. h. solche Curven, welche alle Orte gleicher magnetischer Abweichung miteinander verbinden. Fig. 17 ist eine solche *Abweichungs- oder Declinationskarte*. Die beiden stark ausgezogenen, mit o bezeichneten Curven sind die Linien ohne Abweichung, sie gehen also über solche Orte, an welchen die Magnetnadel genau nach Norden schaut. Die Curven westlicher Declination sind schwächer ausgezogen, die Curven östlicher Declination aber sind punktirt.

Nach der durch Fig. 16 erläuterten Hypothese müßten die beiden magnetischen Erdpole M N und M S diametral gegenüberliegen, was in der That nicht der Fall ist. Dieser Umstand ließe sich durch eine excentrische Lage des idealen Magnets A B, Fig. 16, d. h. dadurch erklären, daß derselbe seitwärts vom Mittelpunkt der Erde läge.

Die magnetische Declination gibt uns keineswegs die wahre Richtung an, nach welcher der Erdmagnetismus auf die Magnetnadel wirkt, denn durch ihre Aufhängung ist dafür gesorgt, daß sie sich nur in horizontaler Ebene umdrehen kann (weil der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkt liegt); es ist also nur der horizontale Theil des Erdmagnetismus, welcher beim Richten des Magnetstabes, Fig. 2, oder der Magnetnadel, Fig. 3, zur Wirtung kommt. Um die Richtung zu finden, nach welcher die magnetische Totalkraft der Erde wirkt, muß man die Nadel nach allen Richtungen hin beweglich machen, wie es bei der *Inclinationsnadel*, Fig. 18, der Fall ist. Diese Magnetnadel ist zunächst um eine horizontale, durch ihren Schwerpunkt gehende Axe, also in verticaler Ebene drehbar. Die Spitzen, in welchen die horizontale Drehungsaxe a b endet, werden von einem messingenen Rähmchen getragen, welches an einem ungedrehten Faden hängt, sodaß sich also der ganze Apparat auch noch um eine verticale Axe drehen kann. Zunächst stellt sich nun das Rähmchen so, daß die Ebene der Nadel in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, dann aber stellt sich die Nadel nicht wagerecht, sondern das Nordende senkt sich, wie es die Figur andeutet.

Der Winkel, welchen die so beweglich gemachte Magnetnadel mit der Horizontalen macht, wird die *Inclination* genannt. Im mittlern Deutschland beträgt die Inclination ungefähr 65°.

Ein Apparat, bei welchem die horizontale Umdrehungsaxe der Inclinationsnadel den Mittelpunkt eines verticalen getheilten Kreises bildet, Fig. 19, heißt eine *Inclinationsbussole* oder ein *Inclinatorium*.

Wenn man von Deutschland aus nach Norden geht, so nimmt die Inclination zu, sie nimmt ab nach Süden hin. Nach Süden hin fortgehend, kommt man endlich an einen Ort, für welchen die Inclination gleich Null ist, für welchen sich also die Inclinationsnadel horizontal stellt; über diesen Punkt hinaus senkt sich dann das Südende der Nadel, die bis dahin nördliche Inclination geht in eine südliche über.

Die um die ganze Erde herumlaufende Linie ohne Inclination wird der *magnetische Aequator* genannt. Auf der *Inclinationskarte*, Fig. 20, ist der mit o bezeichnete magnetische Aequator stärker ausgezogen als die übrigen *isoclinischen* Linien (Linien gleicher Inclination), für welche die Größe der Inclination stets beigeschrieben ist.

Auf den magnetischen Polen der Erde stellt sich die Inclinationsnadel ganz vertical, die Inclination ist hier gleich 90°. Den magnetischen Nordpol der Erde hat Kapitän Roß im Jahre 1832 wirklich erreicht, an den magnetischen Südpol der Erde ist bisjetzt noch niemand gelangt, doch läßt sich seine Lage aus dem Verlaufe der

isoclinischen und isogonischen Linien bestimmen. In den Karten Fig. 17 und Fig. 20 ist die gegenwärtige Lage des magnetischen Nordpols verzeichnet. Der magnetische Südpol liegt außerhalb des auf diesen beiden Karten dargestellten Theils der Erde.

In ihren Hauptzügen wird auch die magnetische Inclination durch die Hypothese des idealen Magnets A B, Fig. 16, erklärt. Denken wir uns durch die Mitte des idealen Magnets eine Ebene rechtwinklig zur Axe desselben gelegt, so schneidet dieselbe die Erdoberfläche in einem größten Kreise, welcher einen Winkel mit der Ebene des Erdäquators macht. Auf allen Punkten dieses größten Kreises, welcher in Fig. 16 zu einer geraden Linie R T verkürzt erscheint, wird sich die Inclinationsnadel horizontal stellen müssen, wie es in t angedeutet ist, weil sie hier gleichweit von den Polen A und B entfernt ist. Der größte Kreis R T stellt demnach den magnetischen Aequator dar, wie er sein würde, wenn der Erdmagnetismus keine Unregelmäßigkeiten zeigte. Nördlich von R T wird die Einwirkung des Pols A, südlich von R T wird die Einwirkung des Pols B auf die Nadel überwiegen; nördlich von R T wird sich also das Nordende, südlich von R T wird sich das Südende der Nadel senken müssen, wie es in r, s, u und v angedeutet ist.

Durch Declination und Inclination ist die Richtung der magnetischen Erdkraft bestimmt; ein weiter zu beachtendes Element des Erdmagnetismus aber ist die Intensität, die Stärke, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt. Um die Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erdoberfläche miteinander zu vergleichen, läßt man einen und denselben Magnetstab, Fig. 2, in seiner horizontalen Ebene um seine Gleichgewichtslage oscilliren. Je stärker der Erdmagnetismus auf den Stab einwirkt, desto rascher werden die Schwingungen sein, desto mehr Oscillationen werden in einer Minute gemacht werden.

Man hat auf Erdkarten die Linien gleicher magnetischer Intensität, die isodynamischen Linien in gleicher Weise aufgetragen, wie die Linien gleicher Declination und gleicher Inclination, der Raumersparniß wegen ist jedoch die Aufnahme einer Karte mit den isodynamischen Curven auf unsern Tafeln unterblieben.

Declination, Inclination und Intensität des Erdmagnetismus für einen bestimmten Ort werden die magnetischen Constanten desselben genannt.

Die magnetischen Constanten eines Ortes sind keineswegs unveränderliche Größen, sondern sie erleiden mannichfache Variationen, und zwar unterscheidet man säculare Variationen, tägliche Variationen und Störungen.

Die Declination war zu Paris

im Jahre	1580	11° 30′ östlich
	1663	0
	1780	19° 55′ westlich.
	1814	22° 34′ „
	1862	19° 36′ „

Im Jahre 1671 betrug die Inclination zu Paris 75°, während sie gegenwärtig daselbst ungefähr nur noch 67° beträgt.

Diese in längern Zeiträumen sich allmählich vollziehenden Aenderungen der magnetischen Constanten sind es, welche man als säculare Variationen bezeichnet.

Infolge der säcularen Variationen erleiden auch die magnetischen Curven eine Umgestaltung; so war z. B. der Lauf der isogonischen Linien vor 100 Jahren ganz anders als jetzt.

Die säcularen Variationen des Erdmagnetismus gehen nicht in der Art vor sich, daß die Nadel sich ganz langsam und gleichförmig nach einer bestimmten Richtung hin fortbewegt, sondern die Magnetnadeln sind beständigen Schwankungen um ihre mittlere Gleichgewichtslage unterworfen, in denen sich zunächst eine tägliche Periode ausspricht.

Was die Declination betrifft, so ist der Verlauf ihrer täglichen Variationen in Deutschland ungefähr folgender: um 8 Uhr morgens hat das Nordende der Nadel im Durchschnitt seine östlichste Stellung; ziemlich rasch geht es dann nach Westen und erreicht zwischen 1 und 2 Uhr seinen westlichen Wendepunkt, um sich dann wieder nach Osten zu wenden und zwar anfangs rasch bis zum Abend und langsamer während der Nacht. In Fig. 21 ist dieser normale Verlauf graphisch dargestellt.

Allein auch diese tägliche Bewegung erfolgt keineswegs stetig, sondern die Magnetnadel weicht von der Stellung, die sie bei vollkommen regelmäßigem Verlauf dieser täglichen Schwankung einnehmen müßte, unregelmäßig bald östlich bald westlich, bald mehr bald weniger ab. Diese unregelmäßigen Abweichungen von dem normalen Gange sind es, welche man als magnetische Störungen bezeichnet.

Auf Humboldt's Veranlassung wurde seit dem Jahre 1828 an vorausbestimmten Tagen an verschiedenen Orten stündlich der Stand der Declinationsnadel mit großer Genauigkeit beobachtet, wobei sich ein merkwürdiger Parallelismus der Bewegung der Nadeln an verschiedenen Orten herausstellte. Einen großartigen Aufschwung nahmen diese erdmagnetischen Terminsbeobachtungen, nachdem Gauß durch Anwendung des Poggendorff'schen Spiegelapparates eine Vorrichtung construirt hatte, welche die geringsten Aenderungen in der Lage des magnetischen Meridians zu beobachten gestattete.

Das Gauß'sche Magnetometer besteht aus einem Magnetstab, welcher an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden aufgehängt und an welchem ein kleiner Spiegel angebracht ist, etwa wie es Fig. 22 darstellt. Diesem Spiegel gegenüber, dessen Ebene wir der Einfachheit wegen als rechtwinklig auf der Axe des Magnetstabes stehend annehmen wollen, ist in einer Entfernung von 5—15 Fuß ein Fernrohr aufgestellt, wie es Fig. 23 zeigt. Das Fernrohr steht etwas höher als der Spiegel und ist so abwärts geneigt, daß seine Axe auf die Mitte des Spiegels gerichtet ist. Unterhalb des Fernrohrs ist dann eine 1 Meter lange in Millimeter getheilte Scala ss in horizontaler Lage so angebracht, daß man durch das Fernrohr im Spiegel das Bild eines Stücks dieser Scala erblickt. Wenn die Axe des Magnets wirklich mit der Verticalebene des Fernrohrs zusammenfällt, so erscheint das Bild des mittlern Punktes a der Scala gerade am verticalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr; sobald aber der Magnetstab nur im mindesten aus dieser Lage abweicht, so erscheint das Bild anderer Theilstriche am verticalen Faden, sodaß man die geringste Abweichung mit Sicherheit erkennen und messen kann.

Fig. 24 stellt ein transportables Magnetometer dar. Den 6 Zoll langen Magnetstab nebst seiner Spiegelvorrichtung haben wir bereits in Fig. 22 kennen gelernt. Ein Bündel ungedrehter Seidenfäden, welches den Magnetstab trägt, ist durch das Rohr r, in dessen Mitte es sich befindet, vor Luftzug geschützt. Der Magnetstab selbst hängt in einem länglichen Gehäuse von starkem Kupferblech, dessen seitliche Oeffnungen, welche in unserer Zeichnung offen geblieben sind, damit man den Magnetstab besser sehen kann, durch Glasfenster geschlossen sind. Auch die Stelle bei d wird mit einem Blechcylinder umgeben, welcher nur dem Spiegel gegenüber eine mit einer geschliffenen Glasplatte geschlossene Oeffnung hat. **Das Gehäuse, in welchem der Magnet spielt, ist mit mehrern Lagen von übersponnenem Kupferdraht umwickelt, welche dazu dienen, die Einwirkung schwacher elektrischer Ströme auf den Magnetstab zu untersuchen. Bei Beobachtung der**

Schwankungen des magnetischen Meridians bleiben diese Drahtwindungen ganz aus dem Spiel.

Mit solchen oder ähnlichen Magnetometern wurden nun jahrelang (und werden zum Theil noch) an vorausbestimmten Tagen an vielen Orten Europas und auch anderer Welttheile 24 Stunden lang die Variationen in der Lage des horizontalen Magnetstabes von 5 zu 5 Minuten beobachtet. Der bessern Uebersicht halber wurden dann diese Beobachtungen für jeden Terminstag graphisch zusammengestellt und in den Resultaten des magnetischen Vereins publicirt. Als Beispiel einer solchen graphischen Darstellung der Störungsschwankungen eines bestimmten Tags mag Fig. 25 dienen, in welcher übrigens nur für zwei Orte (Upsala und Göttingen) die von Stunde zu Stunde gemachten Beobachtungen aufgetragen sind.

Die Zusammenstellung solcher Terminsbeobachtungen hat nun im wesentlichen folgende Resultate gegeben:

1) Für Orte der nördlichen Hemisphäre, welche nahezu auf demselben Meridian liegen, sind die Störungen gleichzeitig und gleichgerichtet.

2) Die Störungen auf der südlichen Hemisphäre stehen nahezu in vollkommenem Gegensatz zu denen, welche gleichzeitig an Orten gleicher geographischer Länge auf der nördlichen Hemisphäre beobachtet werden. Wenn das Nordende der Magnetnadel in Göttingen nach Westen geht, so geht es auf dem Cap der guten Hoffnung gleichzeitig nach Osten.

3) Für Orte, welche nahezu gleiche geographische Breite, aber verschiedene Länge haben, zeigt sich der Zusammenhang der Störungen in der Art, daß wenn an irgendeinem Orte eine besonders starke Störung auftritt, dieselbe auch nach Osten und nach Westen hin gleichzeitig in gleicher Richtung, aber mit abnehmender Stärke beobachtet wird. 90° östlich und 90° westlich von dem Orte der größten Schwankung wird in demselben Momente gar keine oder doch nur eine unbedeutende Schwankung beobachtet, während die gleichzeitigen Störungsschwankungen auf der andern Hälfte des Parallels die entgegengesetzte Richtung haben und zwar zeigt sich ein östliches Maximum ungefähr 180° von dem Punkte entfernt, an welchem gerade das westliche Maximum auftritt.

Die Erscheinung von Nordlichtern ist in der Regel von ungewöhnlich starken Störungsschwankungen der Magnetnadel begleitet. Auch Erdbeben veranlassen starke magnetische Störungen, selbst an Orten, wo sie nicht unmittelbar wahrgenommen werden.

F. Elektricität.

(Tafel 9, Tafel 10 und Figur 33 bis 45 auf Tafel 7.)

I. Reibungselektricität.

Manche Körper, wie z. B. Schellack, Siegellack, Horngummi, Bernstein (das Elektron der Alten, daher: Elektricität), Guttapercha, Glas, Porzellan u. s. w., erlangen durch Reiben mit Wolle, Pelz, Seide u. s. w. die Eigenschaft, leichte Körperchen, wie z. B. Papierschnitzelchen, Hollundermarkkügelchen u. s. w., anzuziehen, wie dies durch Fig. 1, Taf. 9, erläutert wird.

Noch auffallender zeigt sich diese Anziehung am elektrischen Pendel, Fig. 2, welches aus einem an einem leinenen Faden hängenden Korkkügelchen besteht. Wenn das Korkkügelchen, Fig. 2, an einem seidenen Faden aufgehängt ist, so zeigt sich die Anziehung, welche der geriebene Körper auf das Kügelchen ausübt, weit schwächer; ist aber einmal das Kügelchen mit dem Stabe in Berührung gekommen, so erfolgt eine Abstoßung desselben.

Die Ursache dieser Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen wird als Elektricität bezeichnet und imponderabeln elektrischen Flüssigkeiten zugeschrieben, welche manche Aehnlichkeit mit den hypothetischen magnetischen Flüssigkeiten haben.

Die Abstoßung des an dem Seidenfaden hängenden Korkkügelchens durch den Schellackstab, mit dem es kurze Zeit in Berührung war, erklärt sich dadurch, daß ein Theil des elektrischen Fluidums vom Schellackstab auf das Kügelchen überging und nun eine Abstoßung zwischen den mit dem gleichen elektrischen Fluidum geladenen Körpern erfolgt. Diese Abstoßung zeigt sich auch sehr schön an zwei Streifen Pyropapier, Fig. 3, welche man zwischen den Fingern durchgezogen hat.

Das von dem geriebenen Schellack- oder Harzstab abgestoßene Korkkügelchen, Fig. 2, wird von einem mit Wolle geriebenen Glasstab angezogen. Die Elektricität des Glasstabes ist demnach verschieden von der des Harzstabes, und man unterscheidet positive oder Glaselektricität und negative oder Harzelektricität. Ein zwischen den Fingern durchgezogener Streifen von Pyropapier ist negativ elektrisch.

Gleichnamig elektrisirte Körper stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Wenn zwei Körper, miteinander gerieben, elektrisch werden, so nimmt der eine positive, der andere negative Elektricität an. Wird ein Glasstab mit einem Lappen von vulkanisirtem Kautschuk gerieben, Fig. 4, so stößt der Kautschuklappen einen negativ elektrischen Streifen von Pyropapier ab, der Glasstab zieht ihn an.

In ihrem Verhalten gegen die Elektricität zeigen verschiedene Stoffe ein ungleiches Verhalten; sie zerfallen in Leiter der Elektricität (Conductoren) und Nicht-Leiter (Isolatoren). Die Leiter nehmen das elektrische Fluidum leicht auf und geben es leicht wieder ab, bei den Isolatoren ist dies nicht der Fall. Die einem Leiter mitgetheilte Elektricität verbreitet sich über seine ganze Oberfläche, während eine solche Ausbreitung der elektrischen Ladung bei den Isolatoren nicht stattfindet.

Die Metalle sind vorzugsweise gute Leiter, die Stoffe, von welchen oben gesagt wurde, daß sie durch Reiben elektrisch werden, sind Isolatoren.

Um auf einem Leiter Elektricität anzuhäufen, muß er von lauter Isolatoren umgeben sein. Ein Metallcylinder, welchen man elektrisch machen will, muß deshalb von Glasfüßen getragen oder an Seidenschnüren aufgehängt, d. h. er muß isolirt sein. Die trockene Luft, welche alle Körper umgibt, ist ein Isolator, feuchte Luft ist ziemlich gut leitend.

Der menschliche Körper ist ein Leiter der Elektricität; um ihm eine elektrische Ladung ertheilen zu können, muß er auf einem Isolirschemel, d. h. auf einem von Glasfüßen getragenen Bret, Fig. 5, stehen.

Wenn man einem isolirten Metallcylinder CB, Fig. 6, mittels der Elektrisirmaschine eine elektrische Ladung ertheilt, so divergiren die an seinen beiden Enden angehängten elektrischen Pendel (Kügelchen von Hollundermark an leinenen Fäden hängend). Berührt man den geladenen Cylinder unmittelbar mit der Hand oder mittels eines Metallstäbchens, so fallen die Pendel zusammen, weil die Elektricität des Cylinders durch die ihn berührenden Leiter abströmt. Wenn man aber den geladenen Cylinder CB mit einem Glas- oder Harzstab berührt, so fallen die Pendel nicht zusammen, weil weder Glas noch Harz die Elektricität des Cylinders ableiten.

Ein Körper befindet sich im natürlichen, nicht elektrischen Zustande, wenn er gleichviel positive und negative Elektricität enthält, eine elektrische Ladung erfolgt erst, wenn ihm ein Ueberschuß des einen Fluidums mit-

getheilt wird, oder wenn eine Trennung der bis dahin verbundenen elektrischen Fluida erfolgt.

Stellt man den unelektrischen, isolirten Leiter CB, Fig 6, in die Nähe eines mit positiver Elektricität geladenen Leiters A, so wird dieser vertheilend auf die bis dahin verbundenen Elektricitäten von CB wirken, er zieht die negative nach B und treibt die positive nach C zurück. Die Pendel in B divergiren nun, weil beide mit negativer Elektricität geladen sind, die Pendel bei C aber divergiren mit positiver Elektricität.

Wenn man nun den Cylinder CB ableitend berührt, wie dies in Fig. 7 durch ein Kettchen angedeutet ist, so fallen die Pendel bei C zusammen, weil jetzt die von A abgestoßene +E entweichen kann, die Pendel bei B aber divergiren noch mehr, weil von neuem durch A angezogene —E durch die Kette zuströmen kann. Man kann die negative Elektricität in B nicht ableiten, weil sie durch die auf A befindliche +E hier zurückgehalten, gebunden wird.

Die Elektricitätserregung durch Vertheilung wird zur Construction von **Elektrometern** und **Elektroskopen** benutzt. In den Hals eines Glasgefäßes, Fig. 8, ist in einer Glasröhre steckend ein Metallstab eingesetzt, welcher unten mit einem Paar elektrischer Pendel, oben mit einer Metallplatte p oder auch mit einer Metallkugel endigt. Nähert man von oben einen (etwa positiv) elektrischen Körper, so wird die gleichnamige Elektricität in die Pendel getrieben, welche deshalb divergiren, während die ungleichnamige (in unserm Fall die —E) in die Platte gezogen und da gebunden wird. Berührt man nun, während der vertheilende Körper r in der Nähe bleibt, die Platte p ableitend mit dem Finger, so fallen die Pendel zusammen, weil nun die von r abgestoßene Elektricität entweicht. Entfernt man aber nun zunächst den ableitenden Finger und dann die vertheilende Stange r, so divergiren die Pendel aufs neue, weil nun ein Theil der bis dahin in p gebundenen Elektricität in die Pendel herabströmt, das Elektrometer ist nun **geladen** (und zwar in unserm Fall mit —E).

Nähert man dem geladenen Elektrometer von obenher einen mit seiner Ladung gleichnamigen elektrischen Körper, so nimmt die Divergenz der Pendel noch mehr zu, sie nimmt dagegen ab, wenn der genäherte Körper mit der Elektricität im Elektrometer ungleichnamig ist.

Die Pendel des Elektroskops, Fig. 8, sind entweder aus feinen Grashälmchen (Strohhalmelektrometer) oder aus zwei schmalen Streifen Blattgold (Goldblattelektrometer) gemacht.

Um stärkere elektrische Ladungen zu erzielen, wendet man das Elektrophor oder vorzugsweise die Elektrisirmaschine an. Das **Elektrophor** ist ein Harzkuchen a, Fig. 9, der entweder in eine flache Blechschüssel gegossen, oder nur auf ein mit Stanniol überzogenes Bret c gelegt ist. Der Harzkuchen wird durch Schlagen mit einem Fuchsschwanz negativ-elektrisch gemacht und dann auf denselben ein metallener Deckel b aufgesetzt, der entweder mit einem isolirenden Glasstab versehen ist oder an isolirenden Seidenfäden hängt. Setzt man den Deckel b auf den Harzkuchen a auf, so wirkt die negative Elektricität des letztern vertheilend, sie zieht die +E des Deckels an seine untere Fläche, während die abgestoßene —E sich an der obern Fläche des Deckels anhäuft. Berührt man jetzt den Deckel mit dem Finger, so entweicht die vom Harzkuchen abgestoßene —E, und im Deckel bleibt nur +E zurück, welche an der untern Deckelfläche gebunden ist, welche aber sofort frei wird, wenn man den Deckel mittels der isolirenden Schnüre aufhebt. Nähert man dem aufgehobenen Deckel den Finger, so springt ein glänzender Funken über.

Eine weit ausgiebigere Elektricitätsquelle ist die **Elektrisirmaschine**, deren wesentlichster Theil aus einer Glasscheibe (Scheibenmaschinen) oder einem hohlen Glascylinder (Cylindermaschinen) besteht. Fig. 10 stellt eine Scheiben-, Fig. 11 stellt eine Cylindermaschine dar.

Die um ihre horizontale Axe EI drehbare Glasscheibe S bewegt sich bei ihrer Umdrehung mit sanfter Reibung zwischen zwei Lederscheiben hindurch, welche, mit Amalgam (aus Quecksilber und Zink bestehend) überzogen und auf Holzbretchen befestigt sind. Dieses Reibzeug ist von einem Glasfuß H getragen und mit einem messingenen Conductor o versehen. Die durch Reibung positiv-elektrisch gemachte Glasscheibe gelangt nun nach weiterer Drehung zwischen die beiden Holzringe D, um hier ihrer Ladung wieder beraubt zu werden; damit sich aber auf dem Wege vom Reibzeug bis D die Elektricität nicht verliert, ist das Reibzeug mit zwei Lappen von Wachstaffet (eine isolirende Substanz) versehen, zwischen denen sich die Glasscheibe eine Strecke weit fortbewegt.

Die beiden Holzringe D stecken an der von der Glassäule G getragenen hohlen Messingkugel A, welche den **Hauptconductor** der Maschine bildet. Auf ihrer gegen die Glasscheibe gerichteten Seite sind diese Holzringe mit Metallspitzen versehen, welche mit dem Conductor A leitend verbunden sind. Die positiv-elektrische Glasscheibe wirkt vertheilend auf diese Vorrichtung, die angezogene —E strömt durch die Spitzen auf die Scheibe aus, während der Conductor A mit +E geladen bleibt.

Damit nun am Reibzeug stets eine lebhafte Elektricitätsentwickelung stattfinden könne, muß die —E des Reibzeugs stets abgeleitet werden, was dadurch geschieht, daß der Conductor o durch eine Metallkette mit dem Boden leitend verbunden wird.

Aus dem Conductor A kann man Funken positiver Elektricität ziehen. Wird aber A mit dem Boden leitend verbunden, während o isolirt bleibt, so gibt der Reibzeugs-Conductor o negativ-elektrische Funken.

An der Cylindermaschine, Fig. 11, finden sich im wesentlichen dieselben Theile, nur in anderer Form. Mit dem Reibzeug rr sind die kleinen Conductoren oo verbunden. Der messingene Saugcylinder vv steht mit dem Hauptconductor k der Maschine in leitender Verbindung. Der Conductor A, Fig. 10, ist mit verschiedenen Oeffnungen versehen, wie man aus Fig. 12 sieht, welche denselben im Durchschnitt darstellt. In die Höhlung rechts wird der Träger der Saugringe D eingesteckt, in die obere Oeffnung aber wird, wenn es sich um die Erzielung langer und kräftiger Funken handelt, ein Holzring eingesteckt. In die Oeffnung links kann man Drähte einstecken, die mit Messingkugeln von 1 bis 3 Centimeter Durchmesser enden, und an die man verschiedene Apparate anhängen kann.

Um ein Maß für die Ladung des Conductors zu erhalten, wird in die obere Oeffnung statt des Holzringes das **Quadrantenelektrometer**, Fig. 13, eingesteckt, wie man in Fig. 14 sieht. Das Pendel cd, welches aus einem das Korkkügelchen d tragenden Strohhalm besteht, wird an dem Gradbogen um so weiter aufsteigen, je stärker die Ladung ist.

Mit Hülfe der Elektrisirmaschine lassen sich die elektrischen Anziehungs- und Abstoßungs-Erscheinungen in größerm Maßstabe wiederholen. So der Korkkugeltanz Fig. 15. Ein Glascylinder ist oben und unten durch einen Deckel von Pappe geschlossen, der mit Stanniol überzogen ist. Im Innern befindet sich eine Partie

Korkkügelchen. Wird der untere Deckel mit dem Boden, der obere mit dem Conductor der gedrehten Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzt, so tanzen die Kügelchen lebhaft zwischen beiden Deckeln hin und her.

Steckt man statt des Ringes, Fig. 12, die Vorrichtung Fig. 16 in die obere Oeffnung des Conductors A, Fig. 10, so werden sich die gerade herabhängenden Papierstreifchen fächerartig ausbreiten, sobald die Maschine gedreht wird.

Der elektrische Funken ist im Stande, leicht brennbare Stoffe zu entzünden. Sehr leicht gelingt die Entzündung des Knallgases (eines Gemenges von Sauerstoff- und Wasserstoffgas) mittels der elektrischen Pistole, Fig. 17, deren Hals man mit einem Korkpfropfen schließt, nachdem man etwas Wasserstoffgas hat eintreten lassen. In der Wand des Gefäßes ist nun mittels eines isolirenden Glasröhrchens tt ein Messingdraht eingesetzt, welcher einerseits das Metallkügelchen b, andererseits das Messingkügelchen a trägt. Läßt man nun, während man das Blechgefäß in der Hand hält, einen Funken auf die Kugel b schlagen, so schlägt gleichzeitig ein solcher zwischen a und der Blechwand über, welcher das Knallgas entzündet und den Pfropfen, welcher das Gefäß verschließt, unter lautem Knalle fortschleudert.

Zur Entzündung des Schwefeläthers kann man die Vorrichtung Fig. 18 anwenden. Der Hals eines kleinen Glastrichters ist durch einen Kork geschlossen. Durch diesen Kork geht ein Metalldraht hindurch, der unten hakenförmig umgebogen, oben eine kleine Kugel h trägt. Ist diese Vorrichtung mittels eines passenden Stativs gehörig aufgestellt, so wird der Haken n durch eine Kette mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt und in den Trichter zunächst Wasser und auf dieses eine dünne Schicht Aether gegossen, und zwar so weit, daß die Kugel h eben bedeckt ist. Schlägt dann ein Funken von der Kugel l auf h über, so geräth der Aether in Flammen.

Wenn man einem isolirten Leiter eine elektrische Ladung mittheilt, so verbreitet sich dieselbe nur auf seiner Oberfläche, sie dringt nicht in sein Inneres ein, wie sich am leichtesten mittels des Apparats Fig. 19 zeigen läßt. Er besteht aus einer von einem Glasstab getragenen Hohlkugel von Messingblech, welche oben mit einer runden Oeffnung versehen ist. Wenn man die mit Elektricität geladene Kugel an irgendeiner Stelle ihrer äußern Oberfläche mit einem Probescheibchen (ein Scheibchen von Messingblech, welches an einem wohlisolirenden Stiel befestigt ist) berührt, so nimmt das Scheibchen einen Theil der Ladung auf, und wenn man dann mit dem so geladenen Scheibchen die Platte eines Elektrometers berührt, so divergiren dessen Pendel. Wenn man dagegen den Versuch so wiederholt, daß man das Probescheibchen durch die Oeffnung in das Innere der Hohlkugel einführt und mit der innern Fläche derselben in Berührung bringt, so zeigt es nun, abermals an das Elektrometer gebracht, keine elektrische Ladung mehr.

Bei der Dampf- oder Hydroelektrisirmaschine, Fig. 20, wird die Elektricität durch die Reibung des aus engen Oeffnungen ausströmenden Wasserdampfes erzeugt. Sie besteht aus einem von Glasfüßen getragenen Dampfkessel mit innerer Heizung, aus welchem der hochgespannte Dampf durch mehrere Röhren ausströmt, die durch ein mit kaltem Wasser gefülltes Behälter F hindurchgehen, welches in Fig. 21 für sich allein dargestellt ist. Die Ausströmungsöffnungen d haben die in Fig. 22 dargestellte Einrichtung. In die Mündung ist ein Holzröhrchen eingesetzt.

Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Saugspitzen, die mit dem isolirten Conductor C verbunden sind. Ist dieser Conductor mit dem Boden leitend verbunden, so gibt der Kessel kräftige Funken negativer Elektricität, wird aber der Kessel selbst zum Boden abgeleitet, so nimmt der isolirte Conductor C eine kräftige positive Ladung an.

Auf der Oberfläche eines isolirten kugelförmigen Leiters verbreitet sich eine elektrische Ladung vollkommen gleichförmig. Auf der Oberfläche nicht kugelförmiger Leiter aber wird sich die Elektricität vorzugsweise an solchen Stellen anhäufen, welche am weitesten vom geometrischen Mittelpunkte entfernt sind. Auf einem Leiter von der Form Fig. 23 z. B. wird man mit Hülfe des Probescheibchens bei b und c eine weit stärkere Ladung finden als in der Mitte bei a.

Wenn man irgendeinen isolirten Leiter mit einer metallenen Spitze versieht, so findet hier eine so starke Anhäufung der Elektricität statt, daß sie fortwährend ausströmt. Setzt man eine metallene Spitze auf den Hauptconductor der Elektrisirmaschine, so kann man demselben keine merkliche Ladung mehr ertheilen, wie sehr man auch die Scheibe drehen mag, weil alle dem Conductor zugeführte Elektricität sogleich ausströmt. Die Elektricität geht nämlich zunächst von der Spitze auf die sie umgebende Luft über, die nun abgestoßen als elektrischer Wind wegströmt, wie man mit Hülfe einer Kerzenflamme, Fig. 24, nachweisen kann.

Das auf einer Stahlspitze spielende, aus Metalldrähten, die alle nach der gleichen Richtung umgebogen und zugespitzt sind, gebildete Flugrad, Fig. 25, geräth in Rotation, wenn ihm von dem Conductor der Maschine Elektricität zugeführt wird, und zwar infolge der Reaction der aus den Spitzen ausströmenden Elektricität.

Wenn man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine zum Boden abgeleitete Metallspitze entgegenhält, so kann man demselben keine Ladung mehr beibringen.

Fig. 26 stellt einen durch einen Glasstab getragenen Metalldraht dar, welcher einerseits in eine feine Spitze c ausläuft, andererseits die Metallkugel e trägt. Wenn e mit der zum Boden abgeleiteten Metallkugel f in Berührung ist und man die Spitze c dem Conductor der gedrehten Maschine nähert, so strömt aus der Spitze fortwährend —E auf den Conductor über, während die +E zum Boden abströmt. Wird aber e von f entfernt, so strömt noch fortwährend —E von der Spitze zum Conductor über, während die abströmende +E zwischen e und f in Form von Funken überspringt.

Wenn man dem ableitend berührten Conductor CB, Fig. 7, den mit +E geladenen A mehr nähert, so wird bei B mehr —E gebunden, bis endlich ein Funke zwischen B und A überspringt.

Um durch gegenseitige Bindung bedeutendere Quantitäten entgegengesetzter Elektricitäten anhäufen zu können, muß man die beiden Leiter durch einen Isolator trennen, welcher nicht so leicht durchbrochen wird, wie die Luftschicht zwischen B und A, Fig. 7, also etwa durch eine Glasscheibe, wie bei der Franklin'schen Tafel, Fig. 27 und 28. Auf jeder Seite einer wohlisolirenden Glasscheibe ist in der Mitte ein Stanniolblatt so aufgeklebt, daß das Glas ringsum etwa noch handbreit frei bleibt. Auf jeder Seite wird dann ein an einem leinenen Faden hängendes Korkkügelchen angebracht, wie es die Figur zeigt. Bringt man nun die eine Belegung der Scheibe mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, die andere mit dem Boden in leitende Verbindung, so wird sich erstere mit +E, letztere aber mit —E laden, welche sich eben der gegenseitigen Bindung wegen hier in bedeutenderm Maße anhäufen lassen, als es sonst möglich wäre.

Hebt man nun die Verbindung der einen Seite (der rechten in Fig. 28) mit dem Conductor der Maschine auf, so steigt hier das Pendel, während es auf der andern, ableitend berührten Seite gerade herunterhängt. Es muß also auf der rechten Seite ein Ueberschuß von freier +E vorhanden sein, damit alle —E auf der linken Seite gebunden ist.

Hebt man aber nun die Verbindung der linken Seite mit dem Boden auf, während man die rechte Seite ableitend berührt, so fällt hier das Pendel herab, auf der linken Seite aber steigt das Pendel, weil jetzt hier ein Ueberschuß von —E ist. So kann man den Ueberschuß freier Elektricität abwechselnd auf der einen und dann wieder auf der andern Seite wegnehmen, und so den Apparat allmählich entladen.

Die Leydener Flasche, welche in Fig. 29, 30 und 31 in drei verschiedenen Gestalten dargestellt ist, ist eigentlich nur eine bequemere Form der Franklin'schen Tafel, denn auch hier sind zwei Metallbelegungen durch eine Glasschicht getrennt.

Um zu zeigen, daß durch die Leydener Flasche eine weit größere Anhäufung von Elektricität möglich ist, als ohne gegenseitige Bindung erzielt werden kann, bedient man sich des Arrangements Fig. 14. Die Flasche steht auf einem wohlisolirenden Harzkuchen, während die innere Belegung mit dem ein Quadrantenelektrometer tragenden Conductor der Elektrisirmaschine leitend verbunden ist. Wird die Maschine gedreht, so steigt die Kugel des Elektrometers augenblicklich, schon nach einer Umdrehung hat sie ihren höchsten Stand erreicht; wenn aber nun die äußere Belegung zum Boden abgeleitet wird, so fällt das elektrische Pendel herab und es bedarf nun 10 bis 20 Umdrehungen, bis das Pendel wieder zu seiner vorigen Höhe aufsteigt; die Flasche hat also auch eine 10 bis 20 mal so große Elektricitätsmenge aufgenommen als vorher, wo ihre äußere Belegung isolirt war.

Eine Combination von mehrern Leydener Flaschen, deren äußere Belegungen einerseits miteinander verbunden sind, während andererseits auch alle innern Belegungen in leitender Verbindung stehen, wie Fig. 32, heißt eine elektrische Batterie.

Zur Entladung einer Leydener Flasche oder einer Batterie bedient man sich des Ausladers, Fig. 33 oder Fig. 34. Letztere besteht aus einem mit Guttapercha überzogenen Kupferdraht, der an beiden Enden mit Messingkugeln versehen ist. Der Henley'sche Auslader, Fig. 35, dient, um beliebige Körper bequem in den Schließungskreis einer Leydener Flasche einzuschalten.

Durch den menschlichen Körper geleitet bringt der Entladungsschlag der Leydener Flasche eine eigenthümliche Nervenerschütterung hervor.

Dünne Metalldrähte, durch welche man den Entladungsschlag der Leydener Flasche oder einer Batterie leitet, werden erwärmt, und wenn der Draht dünn, die Ladung aber stark genug ist, selbst glühend gemacht und zerstäubt. Den zu diesem Versuch dienenden feinen Eisen- oder Platindraht kann man zwischen den Kugeln d und f des Ausladers Fig. 35 ausspannen.

Ein Kartenblatt, welches man zwischen die hinlänglich genäherten Kugeln des Ausladers Fig. 35 bringt, wird vom Entladungsschlag der Flasche durchbohrt. Selbst Glasplatten kann man durch den Entladungsschlag durchbohren.

Auf demselben Princip wie die Leydener Flasche beruht auch der Condensator, eine Vorrichtung, welche zur Condensation der Elektricität schwacher Spannung dient. Fig. 36 stellt einen Condensator dar, welcher mit einem Goldblatt-Elektrometer verbunden ist. Auf das Elektrometer ist zunächst eine Messingplatte (die untere Condensatorplatte) aufgeschraubt, deren obere Fläche mit einer Firnißschicht überzogen ist. Auf diese Platte wird dann eine zweite, an einem isolirenden Glasstiel befestigte aufgesetzt, deren untere Fläche lackirt ist. Die beiden Metallplatten sind also jetzt durch eine isolirende Schicht getrennt, sie entsprechen also den beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel, nur mit dem Unterschied, daß man die obere Condensatorplatte leicht abheben kann, während sich die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel nicht voneinander entfernen lassen.

Berührt man nun die untere Platte mit einer Elektricitätsquelle, deren Spannung nicht hinreicht, eine merkliche Divergenz der Goldblättchen zu bewirken, während man die obere Condensatorplatte ableitend mit dem Finger berührt, Fig. 37, so wird der Condensator geladen, d. h. die Elektricität jener Quelle wird an der Firnißschicht der untern Platte condensirt, während sich die entgegengesetzte E auf der untern Fläche der obern Platte anhäuft. Entfernt man zunächst den Finger von der obern, dann die Elektricitätsquelle von der untern Platte, so divergiren die Pendel, wenn man die obere Platte abhebt und dadurch die in der untern bisher gebunden gewesene E gleichsam in Freiheit setzt.

Wenn man aus dem Conductor der Elektrisirmaschine mittels eines nahegehaltenen Leiters Funken zieht, so sind dieselben glänzend weiß und geradlinig, wenn dagegen aus dem Conductor einer kräftigen Maschine Funken auf größere Entfernung überspringen, so ist ihr Licht weniger glänzend, sie erscheinen gezackt und verästelt, wie Fig. 39 zeigt. Der verästelte Funke geht in einen violetten Lichtbüschel, Fig. 42, über, wenn man auf den Conductor eine etwas abgerundete Metallspitze aufsetzt. Solche Büschel zeigt aber nur die positive Elektricität. Die ausströmende negative Elektricität erscheint als leuchtendes Sternchen.

Interessante Erscheinungen erhält man durch Vervielfältigung des Funkens.

Fig. 41 stellt eine ungefähr zollweite Glasröhre dar, welche an jedem Ende mit einer Metallfassung versehen ist. Auf dieser Röhre sind Stanniolblättchen spiralförmig so aufgeklebt, daß zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Blättchen ein Zwischenraum von 1 bis 2 Millimetern bleibt. Nähert man nun die eine Metallfassung dem Conductor der Maschine, während man die andere in der Hand hält, so springt gleichzeitig in allen jenen Zwischenräumen ein Fünkchen über, und all diese Fünkchen bilden eine glänzende Spirallinie (Blitzröhre).

Fig. 40 stellt eine Blitztafel dar. Es ist dies eine in passender Fassung aufgestellte Franklin'sche Tafel, deren vordere Belegung durch eine Reihe kreuzweise geführter Schnitte in viele rautenförmige Stückchen getheilt ist, welche nicht mehr in leitender Verbindung stehen. Wenn nun die hintere Belegung zum Boden abgeleitet, die vordere aber mit dem Conductor verbunden wird, so kann die Ladung der vordern Belegung nur dadurch erfolgen, daß der Funke, die isolirenden Zwischenräumchen überspringend, sich blitzartig verbreitet.

Im luftverdünnten Raume verbreitet sich der elektrische Funke als ein violettes Strahlenband auf weit größere Entfernungen hin als im lufterfüllten, wie sich dies mit Hülfe des elektrischen Eies, Fig. 43, zeigen läßt, welches auf die Luftpumpe aufgeschraubt und evacuirt werden kann.

Wenn man den Knopf einer mit positiver Elektricität geladenen Leydener Flasche mit einer Scheibe

von Schellack berührt und dann semen lycopodii aus einem leinenen Beutelchen auf diese Scheibe siebt, so entsteht eine Staubfigur, welche durch dendritisch sich verästelnde Strahlen gebildet wird, Fig. 44. War dagegen die innere Belegung der Flasche mit —E geladen, so entstehen nur rundliche Flecken, deren Ausdehnung weit geringer ist als die der positiven Staubfigur.

Endlich muß noch angeführt werden, daß die Intensität der elektrischen Anziehung und Abstoßung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt, d. h. in der 2fachen, 3fachen Entfernung ist sie 4 mal, 9 mal schwächer. Dies kann unter anderm mittels der Vorrichtung Fig. 38 nachgewiesen werden. Eine isolirte Metallkugel B wird mit der einen, eine kleine, an einem Schellackstiel befestigte und an einem Seidenfaden aufgehängte Messingkugel a wird mit der entgegengesetzten Elektricität geladen. Aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebracht, oscillirt die kleine Kugel in horizontaler Ebene, und zwar um so rascher, je näher B ist. Aus der für verschiedene Entfernungen zwischen B und a beobachteten Schwingungszahl kann man auf die Intensität der Anziehung für diese Entfernungen schließen.

II. Galvanismus.

Galvani machte im Jahre 1786 die Beobachtung, daß ein Froschpräparat, Fig. 1, Taf. 10, zuckt, so oft man die Schenkelnerven durch einen metallischen Bogen mit dem Wadenmuskel in leitende Verbindung bringt; Volta aber zeigte, daß es zum Gelingen dieses Versuchs wesentlich sei, daß der metallische Bogen aus zwei verschiedenen Metallen, etwa aus Zink, Z, und aus Kupfer, C, zusammengesetzt sei. Er suchte die Ursache dieser Erscheinung in einer bei der Berührung von Zink und Kupfer stattfindenden Elektricitätsentwickelung.

Diese Elektricitätsentwickelung beim Contact zweier verschiedener Metalle suchte er mit Hülfe des Condensators zu beweisen. Berührt man die untere Fläche der untern messingenen Condensatorplatte mit einem in der einen Hand gehaltenen Zinkstäbchen, Fig. 37, Taf. 9, während man mit der andern Hand die obere Condensatorplatte ableitend berührt, so wird der Condensator geladen, und wenn man dann die obere Platte abhebt, so divergiren die Goldblättchen mit *negativer* Elektricität. Volta schloß daraus, daß Kupfer (oder Messing) in Berührung mit Zink negativ-elektrisch werde. Später gab man diesem Versuch eine andere Deutung, indem man den Sitz der Elektricitätserregung an die Berührungsstelle des Zinks mit der feuchten Hand verlegte. Nach dieser Theorie wird Zink in Berührung mit der Flüssigkeit negativ-, die Flüssigkeit aber positiv-elektrisch.

Daß in der That Zink in Berührung mit einer Flüssigkeit negativ-elektrisch wird, läßt sich auf folgende Weise zeigen. Auf ein Goldblatt-Elektrometer, Taf. 9, Fig. 44, wird eine Zinkplatte aufgeschraubt, welche auf keiner Seite gefirnißt ist; auf diese wird eine möglichst dünne überragende Glasplatte gelegt, auf welcher wieder eine Scheibe Löschpapier liegt. Das Löschpapier wird mit Salzwasser getränkt und dann durch einen Zinkbügel eine leitende Verbindung zwischen dem feuchten Papier und der Zinkplatte hergestellt. Hat diese kurze Zeit gedauert, so wird der Zinkbügel entfernt und die Glasplatte abgehoben; die Goldblättchen divergiren nun mit negativer Elektricität, welche nur von der Berührung des Zinkbügels mit der Flüssigkeit herrühren kann.

Wiederholt man diesen Versuch mit einer Kupferplatte und einem Kupferbügel, so erhält man eine kaum merkliche negative Ladung; die Elektricitätserregung zwischen Kupfer und Flüssigkeit ist so unbedeutend, daß wir sie hier unberücksichtigt lassen können.

Legt man auf eine Kupferscheibe eine mit Salzwasser befeuchtete Tuchscheibe, so findet also keine merkliche Elektricitätserregung statt, wird aber auf die Tuchscheibe eine Zinkplatte gelegt, Fig. 45, Taf. 9, so nimmt diese eine negative Ladung von einer Stärke an, welche wir mit —E bezeichnen wollen, während die Flüssigkeit der Tuchscheibe und die Kupferscheibe die Ladung +E annehmen.

Eine solche Combination, wie Fig. 45, nennt man ein *Volta'sches Element*. Wie man demselben auch Elektricität entziehen oder zuführen mag, immer bleibt das Zink um eine bestimmte Quantität, und zwar um 2 E mehr negativ elektrisch als die Flüssigkeit und die Kupferscheibe. Wird z. B. die Kupferplatte ableitend berührt, so wird ihr die positive Ladung entzogen, und die Spannung der negativen Elektricität der Zinkplatte wird —2E, Fig. 46. Würde dem Element Fig. 45 so viel freie negative Elektricität zugeführt, daß die Ladung desselben —2E wäre, wenn gar keine Elektricitätserregung stattfände, so steigt die Ladung der Zinkplatte auf —4E. Legt man auf das Volta'sche Element, Fig. 46, ein zweites ganz gleiches in gleicher Ordnung, so verbreitet sich die Ladung —2E von der untern Zinkplatte über das ganze aufgelegte Element, und die Ladung der obern Zinkplatte, Fig. 47, wird nun —4E sein. Würde ein drittes, viertes Element aufgelegt, so würde die Spannung der freien Elektricität der obersten Zinkplatte auf 6E, 8E u. s. w. steigen. Darauf beruht die Construction der *Volta'schen Säule*, Fig. 48. Nehmen wir an, dieselbe sei aus 50 Elementen aufgebaut und die unterste Kupferplatte sei ableitend berührt, so würde die Ladung der obersten Zinkplatte —100E sein. Bleibt die ganze Säule isolirt, so ist ihre elektrische Spannung in der Mitte gleich 0, die der obersten Zinkplatte ist alsdann — 50 E, die der untersten Kupferplatte ist +50E.

Die beiden Enden der Volta'schen Säule werden die *Pole* derselben genannt.

Nach dem Princip der Volta'schen Säule ist auch *Zamboni's trockene Säule* construirt. Ein Bogen unechten Goldpapiers (Kupfer) wird mit der Papierseite auf einen Bogen unechten Silberpapiers geklebt und dann runde Scheibchen von 10 bis 40 Millimeter Durchmesser ausgeschlagen. Ein solches Scheibchen repräsentirt ein Volta'sches Element, nämlich eine dünne Kupferplatte und eine dünne Zinnplatte (Zinn wirkt fast wie Zink) und zwischen beiden eine Papierschicht, welche immer etwas hygroskopische Feuchtigkeit enthält. Von solchen Scheibchen kann man nun eine Säule aufbauen, was am bequemsten geschieht, wenn man sie stets in gleicher Ordnung in eine unten mit einer Messingfassung geschlossenen Glasröhre schichtet und dann, wenn die Füllung vollendet ist, die Glasröhre oben durch eine gleiche Messingfassung schließt. Die beiden Fassungen Z und K, Fig. 2, Taf. 10, bilden die beiden Pole der trockenen Säule.

Solche trockene Säulen zeigen sehr starke Spannungserscheinungen, da man leicht solche von mehrern Hunderten oder Tausenden von Scheibchen aufbauen kann.

Das *elektrische Perpetuum-mobile*, Fig. 3, Taf. 10, besteht aus zwei Zamboni'schen Säulen, jede von ungefähr 2000 Paaren. Bei der einen ist der negative, bei der andern ist der positive Pol nach oben gerichtet, während die beiden untern Pole durch einen Metallstreifen verbunden sind, sodaß das System eine einzige

Säule von 4000 Plattenpaaren darstellt. In der Mitte zwischen den beiden obern Polen ist ein ganz leichtes metallisches Pendel leicht beweglich und isolirt aufgehängt, welches zwischen den beiden Polen beständig hin und her oscillirt.

Bennet's Säulenelektrometer, Fig. 4, besteht aus zwei kleinen Zamboni'schen Säulen, welche übrigens ebenso arrangirt sind, wie beim Apparat Fig. 3. Zwischen den beiden oberen Polen befindet sich ein isolirt aufgehängtes Goldblättchen, welches nach dem positiven oder negativen Pol ausschlägt, wenn ihm eine negative oder positive Ladung ertheilt wird. Fig. 5 stellt eine zweckmäßigere Form des Säulenelektrometers dar.

Während die trockene Säule starke Spannungseffecte hervorbringt, zeigt sie kaum Spuren der kräftigen Stromeswirkungen, welche auftreten, wenn die Volta'sche Säule geschlossen, d. h. wenn der positive und negative Pol derselben in leitende Verbindung gebracht wird.

Durch diesen Verbindungsbogen strömt dann beständig die positive Elektricität nach dem negativen, die negative nach dem positiven Pol hin ab, während die abströmende Elektricität durch die elektromotorische Kraft in der Säule sogleich wieder ersetzt wird, sodaß in der Säule stets +E dem positiven und —E dem negativen Pole zuströmt.

Um kräftige Stromeswirkungen zu erhalten, ist die ursprüngliche Form der Volta'schen Säule wenig geeignet. Man hat deshalb die Form der Elemente vielfach abgeändert, und Fig. 6 stellt das Schema der Volta'schen Elemente dar, wie sie jetzt meistens benutzt werden. In das gesäuerte Wasser eines Glasgefäßes ist eine Zinkplatte und ihr gegenüber eine Kupferplatte eingetaucht, ohne daß die beiden Platten sich metallisch berühren. Um nun solche Elemente zur Säule zu verbinden, wird die Zinkplatte eines jeden Bechers mit der Kupferplatte des vorhergehenden leitend verbunden, wie Fig. 7 andeutet. Die freie Zinkplatte des ersten Bechers bildet den negativen, die freie Kupferplatte des letzten bildet den positiven Pol.

Um eine möglichst große wirksame Zinkfläche zu erhalten, wird die Kupferplatte eines jeden Elements um die Zinkplatte herumgelegt, Fig. 49, Taf. 9, und die Berührung zwischen der Kupferplatte und der Zinkplatte durch zwischengelegte Holzstückchen verhindert. Eine aus solchen Elementen zusammengesetzte Säule wird nach ihrem Erfinder eine Wollaston'sche genannt. Bei allen Säulen, bei welchen Zink und Kupfer in dieselbe Flüssigkeit (verdünnte Schwefelsäure) eingetaucht sind, nimmt die Stromstärke sehr rasch ab. — Es wird dies vermieden, wenn die Kupferplatte in eine Lösung von Kupfervitriol eingetaucht ist, während die Zinkplatte allein in verdünnte Schwefelsäure eintaucht. Solche Säulen mit zweierlei Flüssigkeit werden constante Säulen oder Batterien genannt. Die eben besprochene Combination aber heißt die Daniell'sche oder Becquerel'sche Säule. Zur Trennung der beiden Flüssigkeiten dient eine poröse Thonzelle. Fig. 50, Taf. 9, stellt ein Daniell'sches Element dar. In dem Glasgefäß V befindet sich verdünnte Schwefelsäure, in welche eine cylinderförmig gebogene Zinkplatte eingetaucht ist. Innerhalb des hohlen Zinkcylinders steht eine poröse Thonzelle, welche mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist, welche endlich die gleichfalls cylindrisch gebogene Kupferplatte aufnimmt.

Bei der Grove'schen Batterie ist die Kupferplatte durch Platin, bei der Bunsen'schen ist sie durch einen aus harter Kohlenmasse gebildeten Cylinder ersetzt. Das Platin sowol wie die Kohle stehen in concentrirter Salpetersäure. Die constante Zinkplatinsäule sowol wie die Zinkkohlensäule wirken ungleich kräftiger wie die Zinkkupfersäule. Fig. 51 stellt ein Bunsen'sches Zinkkohlenelement dar.

Fig. 8, Taf. 10, stellt eine aus fünf Bunsen'schen Bechern zusammengesetzte Säule dar.

Zu manchen Zwecken braucht man eine Säule von vielen kleinern Bechern, zu andern Zwecken aber braucht man Säulen von wenigen aber großen Plattenpaaren. Um nun alle diese Zwecke mit einer gegebenen Anzahl von mittelgroßen Bechern zu erreichen, kann man dieselben in verschiedener Weise combiniren, wie dies durch die schematischen Figuren, Fig. 52—55, Taf. 9, erläutert wird. Fig. 52 stellt 8 Becher dar, welche zur Säule verbunden sind. Fig. 54 stellt eine Säule von 4 Plattenpaaren dar, von denen jedes durch zwei Becher gebildet wird. Fig. 53 ist eine Säule von zwei vierfachen Plattenpaaren. In Fig. 55 endlich sind 8 Becher zu einem einzigen Plattenpaar verbunden.

III. Wirkungen des Stroms auf die durchströmten Leiter.

Wenn man den elektrischen Strom durch einen Metalldraht leitet, so wird derselbe erwärmt, und zwar um so stärker, je stärker der Strom und je dünner der Draht ist. Um die Gesetze dieser Erwärmung zu untersuchen, wendet man die Vorrichtung Fig. 9, Taf. 10, an. Der dünne Metalldraht, welcher der Untersuchung unterworfen werden soll, ist mit seinen beiden Enden an dickern Zuleitungsdraht angelöthet und befindet sich im Innern eines mit Weingeist gefüllten Gefäßes. Ein in den Weingeist eingetauchtes Thermometer liefert ein Maß für die durch einen elektrischen Strom im Draht entwickelte Wärmemenge. Schlechtleitende Metalldrähte werden stärker erwärmt als gutleitende. Ist die Stromstärke bedeutend genug, so erfolgt ein Erglühen der Drähte. Schaltet man in den Schließungsbogen einer hinlänglich starken Säule eine Kette, Fig. 10, ein, welche abwechselnd aus Stücken von Platin- und von Silberdraht besteht, so werden die Platinstücke glühend, während die Silberstücke noch dunkel bleiben.

Wenn man zwei Spitzen von Gaskohle, Fig. 11, von welchen die eine mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole einer Säule von mindestens 40 Bunsen'schen Bechern verbunden ist, in Berührung bringt, so entsteht ein blendendes Licht. Man kann alsdann die weißglühenden Polspitzen wieder etwas auseinanderziehen, und es geht alsdann ein Lichtbogen zwischen ihnen über. Man hat dieses elektrische Licht zur Beleuchtung von Theatern und Sälen, zu objectiven und mikroskopischen Darstellungen u. s. w. benutzt.

Wenn die Kohlenspitzen, zwischen denen der Flammenbogen übergeht, von einem Kasten mit undurchsichtigen Wänden umgeben sind, in dessen vorderer Seite sich ein entsprechendes Linsensystem befindet, so wird dasselbe auf einem passend aufgestellten Schirme ein vergrößertes Bild der glühenden Kohlenspitzen und des Flammenbogens entwerfen, wie Fig. 12 zeigt. Man beobachtet dann, daß der positive Pol ausgehöhlt erscheint, und daß fortwährend ein Strom glühender Kohlentheilchen vom positiven zum negativen Pol übergeht. Die Wärmeentwickelung ist übrigens am positiven Pole stärker als am negativen, sie genügt um Platin- und Eisendrähte zu schmelzen.

Wenn man den galvanischen Strom durch chemisch zusammengesetzte Flüssigkeiten leitet, so werden dieselben, insofern sie überhaupt den Strom zu leiten im Stande sind, in ihre Bestandtheile zerlegt. Versieht man jeden

der beiden Poldrähte einer Säule von ungefähr 6 Bunsen'schen Bechern mit einer Platinplatte, taucht man dann die beiden Platinplatten, ohne daß sie sich berühren, in gesäuertes Wasser, so steigen an beiden Platten Gasbläschen auf. Fängt man das aufsteigende Gas in Glasröhren auf, die mit Wasser gefüllt über die Polplatten gestülpt sind, Fig. 13, so zeigt sich bald, daß von der negativen Polplatte doppelt so viel Gas aufsteigt als von der positiven, und eine Untersuchung der Gase zeigt, daß sich an der negativen Platte Wasserstoffgas, an der positiven aber Sauerstoffgas entwickelt. Fig. 14 zeigt einen Wasserzersetzungsapparat, bei welchem die entwickelten Gase nicht getrennt aufgefangen werden, sondern vermengt als Knallgas durch dieselbe Glasröhre entweichen. Man kann das aus diesem Rohr entweichende Gas in einer graduirten Röhre, Fig. 15, auffangen. Die Menge des in einer gegebenen Zeit, etwa in 1 Minute, entwickelten Gases ist ein Maß für die Stärke des Stroms. Ein Wasserzersetzungsapparat, Fig. 14, verbunden mit dem graduirten Rohr, Fig. 15, bildet ein **Voltameter**.

Davy hat durch den galvanischen Strom zuerst Kali zerlegt, und zwar scheidet sich dabei Sauerstoff am positiven, Kalium am negativen Pole aus. In gleicher Weise werden auch die andern Alkalien und Erden in Sauerstoff und in Metall zerlegt.

Geschmolzene Chlormetalle werden durch den Strom in Chlor (am + Pol) und Metall (am — Pol) zerlegt.

Die Lösung eines Alkalisalzes (z. B. des Glaubersalzes) wird durch den Strom so zerlegt, daß sich am + Pol Sauerstoff und die Säure, am — Pol Wasserstoff und die Basis ausscheidet. Um dies zu zeigen, gießt man die durch Malventinctur gefärbte Salzlösung in eine Glasröhre von der Form Fig. 16, und taucht die aus Platin bestehenden Polplatten in die beiden Schenkel ein. Die Lösung am + Pol färbt sich alsbald roth (durch den Einfluß der freigewordenen Säure), am — Pol aber grünlich (durch die Basis).

Anders verhalten sich die Lösungen der Salze schwerer Metalle, aus ihnen scheidet sich am negativen Pol das reine Metall aus. So schlägt sich z. B. aus einer Lösung von Kupfervitriol am — Pol metallisches Kupfer nieder. Dieser Kupferniederschlag, welcher sich von dem metallischen — Pol leicht ablösen läßt, wird in der **Galvanoplastik** benutzt. Mittels der Galvanoplastik werden kupferne Copien von beliebigen Gegenständen, z. B. von Münzen dargestellt. Von dem zu copirenden Gegenstand wird zunächst ein Abdruck in Wachs oder Guttapercha genommen und dessen Oberfläche durch Graphit leitend gemacht, welcher dann in eine Lösung von Kupfervitriol eingetaucht wird. Die Graphitschicht wird dann mit dem negativen Pol eines Bunsen'schen Bechers, Fig. 17, verbunden und ihr gegenüber eine Kupferplatte eingehängt, welche mit dem + Pol des Bechers verbunden wird. Es scheidet sich nun auf der mit Graphit überzogenen Form eine Schicht von Kupfer ab, welche nach ein bis zwei Tagen dick genug ist, um abgenommen werden zu können, und welche eine genaue kupferne Copie des ursprünglichen Originals ist.

Wendet man statt der Lösung von Kupfervitriol die Lösung eines Silber- oder Goldsalzes an, so wird sich auf einer metallischen Oberfläche, welche mit dem — Pol verbunden in die Lösung herabhängt, Silber oder Gold ausscheiden, wenn der Strom durch die Lösung hindurchgeht. Darauf beruht die **galvanische Versilberung und Vergoldung**.

IV. Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

Wenn ein durchströmter Leitungsdraht in der Nähe einer Magnetnadel vorübergeführt wird, so wird dieselbe aus ihrer durch den Erdmagnetismus bedingten Gleichgewichtslage abgelenkt. Fig. 18, Taf. 10, stellt einen quadratisch gebogenen Bügel von Kupferblech dar, welcher so aufgestellt wird, daß die Ebene des Quadrats mit der Ebene des magnetischen Meridians zusammenfällt. In der Mitte der horizontalen Seite cd ist über und unter dem Kupferstreifen eine Stahlspitze angebracht, auf welcher eine Magnetnadel spielt. In gleicher Weise spielt eine Magnetnadel über dem horizontalen Arm fg. Solange das Kupferblech nicht durchströmt ist, bleiben die Nadeln im magnetischen Meridian, schraubt man aber bei b den positiven, bei g den negativen Pol einer Säule ein, so werden die Nadeln abgelenkt, und zwar in der durch die ungefiederten Pfeile angedeuteten Richtung wenn S nach Süden, N nach Norden schaut.

Eine umströmte Magnetnadel wird stets so abgelenkt, daß ihr Südpol nach derjenigen Seite hinschaut, von welcher aus gesehen der Strom in der Richtung circulirt, wie der Zeiger einer Uhr.

Die Ablenkung der Magnetnadel wird benutzt, um galvanische Ströme nachzuweisen und zu messen.

Um stärkere Ströme zu messen, dient die **Tangentenbussole**, Fig. 19, ein Ring von Kupfer, welcher in zwei isolirt nebeneinander herlaufenden Kupferstreifen ab und cd endet. In der Mitte dieses in der Ebene des magnetischen Meridians vertical aufgestellten Ringes befindet sich eine Bussole, deren Nadel auf 0 zeigt, wenn kein Strom durch den Ring hindurchgeht. Sobald aber der Ring durchströmt wird, findet eine Ablenkung der Nadel statt, und zwar ist die Stromstärke der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, daher der Name des Instruments.

Um schwache galvanische Ströme nachzuweisen, wendet man den **Multiplicator (Galvanometer)**, Fig. 20, an. Er besteht aus einer, an einem Coconfaden aufgehängten Magnetnadel, um welche ein mit Seide übersponnener Kupferdraht in vielen Windungen herumgeführt ist. Um das Instrument empfindlicher zu machen, wird statt einer Nadel ein astatisches Nadelpaar angewandt. Die untere Nadel desselben befindet sich in der Höhlung der Windungen, die andere hängt über denselben. Die obere Nadel bewegt sich über einem getheilten Kreise hin, auf welchem man die Größe der Ablenkung abliest. Je nach Umständen muß man einen Multiplicator mit vielen Windungen (bis zu 40000) sehr dünnen Drahtes, oder einen solchen anwenden, welcher nur aus wenigen (30 bis 40) Windungen eines dickern Drahtes gebildet ist.

Eine andere Form des Multiplicators ist das **Spiegelgalvanometer**, Fig. 24, Taf. 8. Der schon früher besprochene, mit einem Spiegel versehene Magnetometerstab ist mit einer Reihe von Multiplicatorwindungen umgeben. Wenn diese von einem schwachen Strom durchlaufen werden, erfolgt eine freilich nicht bedeutende Ablenkung des Magnetstabes, durch die Spiegelablesung wird aber schon die geringste Ablenkung meßbar.

Wenn man um einen Stab von weichem Eisen einen mit Wolle übersponnenen Kupferdraht in vielen Windungen herumwickelt und dann einen galvanischen Strom durch diese Windungen hindurchsendet, so wird das Eisen magnetisch; es verliert aber seinen Magnetismus augenblicklich wieder, sobald der Strom aufhört das Eisen zu umkreisen. Solche temporäre Magnete nennt man **Elektromagnete**.

Statt den Draht unmittelbar auf das Eisen aufzuwickeln, ist es zweckmäßiger, ihn auf eine Spule von Holz oder Pappendeckel aufzuwickeln und so eine **Magnetisirungsspirale**, Fig. 21, Taf. 10, herzustellen in welche der Eisenstab eingeschoben wird.

Die Polarität eines solchen Elektromagnets folgt dem durch Fig. 22 erläuterten Gesetz.

Der Magnetismus der Elektromagnete ist ungleich stärker, als man ihn je in permanenten Stahlmagneten erzielen kann. Fig. 23 zeigt einen kleinen hufeisenförmigen Elektromagnet.

In vielen Fällen ist es nothwendig, daß beide Pole des Elektromagnets nach oben gekehrt sind, wie dies bei dem großen Elektromagnet, Fig. 24, der Fall ist. Die Spirale eines jeden Schenkels ist hier aus drei Stücken zusammengesetzt, deren jedes 18 bis 20 Pfund Kupferdraht enthält.

Zu den wichtigsten Anwendungen des Elektromagnetismus gehört ohne Zweifel die **elektrische Telegraphie**. Nachdem man einmal die Erfahrung gemacht hatte, daß der elektrische Strom sich in den längsten Leitungsdrähten mit momentaner Geschwindigkeit fortpflanzt, versuchte man verschiedene Stromwirkungen zur Signalisirung in die Ferne anzuwenden, aber nur die magnetischen zeigten sich praktisch anwendbar, namentlich aber der Elektromagnetismus.

Fig. 25 stellt **Morse's Drucktelegraph** dar. Ueber den Polen des Elektromagnets b schwebt, von dem Hebel dd getragen, der eiserne Stab cc. Sobald ein Strom durch die Windungen des Elektromagnets bb hindurchgeht, werden seine Eisenkerne magnetisch und ziehen den Anker cc herab, wodurch dann ein Stahlstift, welcher am linken Ende des Hebels dd befestigt ist, gehoben wird. Sobald der Strom in b unterbrochen wird, wird aber der Hebel d sammt dem Stahlstift durch die Feder f wieder zurückgezogen. Dem Stifte bei d links gegenüber befindet sich nun ein Papierstreifen, welcher mit gleichförmiger Geschwindigkeit zwischen den Messingrollen r und h nach links fortgezogen wird, wenn diese Rollen durch ein Uhrwerk in Umdrehung gesetzt werden. Wird nun der Stift bei d links nach oben gedrückt, so preßt er die entsprechende Stelle des Papierstreifens in eine hinter demselben befindliche Rinne der Rolle r hinein, wodurch im Papier ein bleibender Eindruck gemacht wird. Wird der Strom des Elektromagnets nur momentan geschlossen, so wird auf diese Weise ein Punkt auf dem Papierstreifen markirt, ein Strich dagegen, wenn die Schließung etwas länger dauert.

Sind nun die Zuleitungsdrähte des Elektromagnets b zu einer meilenweit entfernten Station fortgeführt, an welcher eine galvanische Säule aufgestellt ist, so wird durch eine an jener entfernten Station ausgeführte momentane Schließung des Stroms auf dem Papierstreifen des Schreibapparats ein Punkt markirt, oder ein Strich, wenn die Schließung etwas länger dauert. Aus Punkten und Strichen ist nun das Alphabet zusammengesetzt; so bezeichnet z. B.

—	·	· ·	— · —	· · · ·	— · · ·	— —	— ·	—
a	e	i	o	u	b	m	n	t

Um leicht und sicher den Strom schließen und öffnen zu können, dient der Schlüssel, Fig. 26. Die Verbindung zweier Stationen wird durch Fig. 27 erläutert. Wenn der Schlüssel der Station rechts niedergedrückt wird, so geht der Strom der Säule b durch diesen Schlüssel und den Leitungsdraht zum Schlüssel der andern Station, von diesem durch den Schreibapparat m' zur Bodenplatte P', um dann durch den feuchten Boden, welcher den zweiten Leitungsdraht ersetzt, zu der Station rechts zurückzukehren.

Auch als **Triebkraft** hat man den Elektromagnetismus zu benutzen gesucht und hoffte sogar die Dampfmaschinen durch elektromagnetische Motoren ersetzen zu können, ohne jedoch praktisch brauchbare Resultate zu erzielen. Von den mannichfachen Formen elektromagnetischer Motoren mag hier beispielshalber nur eine betrachtet werden.

Vier starke Elektromagnete A, B, C und D, Fig. 28 und 29, sind in einem Gestell von Gußeisen so befestigt, daß jeder einen Winkel von 60° mit dem folgenden macht. Zwischen diesen Elektromagneten befindet sich ein System von zwei gußeisernen, auf derselben horizontalen Umdrehungsaxe befestigten Rädern, welche auf ihrem Umfang 8 Stäbe M von weichem Eisen tragen, deren jeder um 45° vom folgenden absteht. Der Strom geht nun nicht gleichzeitig durch die Umwindungen aller 4 Elektromagnete, sondern der Reihe nach erst durch die Umwindungen von A und B, dann durch die von D, nachher durch die von C u. s. w. Der Gang der Maschine wird durch Fig. 29 erläutert.

Wie der galvanische Strom ablenkend auf eine bewegliche Magnetnadel wirkt, so wirkt er auch ablenkend auf einen beweglich aufgehängten galvanisch durchströmten Leitungsdraht, wie dies Ampère gezeigt hat, welcher damit die Lehre von der gegenseitigen Einwirkung der galvanischen Ströme, die **Elektrodynamik**, begründet hat. Fig. 30 zeigt das Ampère'sche Gestell in einfachster Form. Zwei voneinander isolirte Metallsäulen tragen zwei Quecksilbernäpfchen, in welche ein rectangulär gebogener Leiter so eingehängt ist, daß er sich frei drehen kann. Wird nun der positive Poldraht einer Säule in dem vordern, der negative im hintern Säulchen eingeschraubt, so wird der bewegliche Leiter durchströmt, wie die Pfeile andeuten. Der so durchströmte Leiter wird nun zunächst durch den Erdmagnetismus gerichtet, er stellt sich rechtwinkelig zum magnetischen Meridian. Stellt man nun dem beweglichen Leiter einen andern Leitungsdraht so gegenüber, wie die Figur zeigt, so wird Anziehung oder Abstoßung stattfinden, je nachdem der Strom in rs aufsteigt oder niedergeht.

Es folgt daraus, daß parallele gleichgerichtete Ströme sich anziehen, während parallele entgegengesetzt gerichtete Ströme sich abstoßen.

Die Anziehung paralleler Ströme wird auch durch den Apparat Fig. 34 erläutert. Ein Spirale von Kupferdraht ist so aufgehängt, daß ihre untere Spitze eben in ein Quecksilbernäpfchen eintaucht. Ist nun das Quecksilbernäpfchen mit dem einen Pol einer Säule verbunden, während vom andern ein Draht zur Klemmschraube K führt, so sind alle Windungen der Spirale in gleicher Richtung durchströmt, sie ziehen sich an, dadurch wird die Spirale verkürzt und die Spitze aus dem Quecksilber herausgezogen, also der Strom unterbrochen. Die Spitze sinkt wieder in das Quecksilber herab und dasselbe Spiel beginnt aufs neue.

Fig. 35, Taf. 7, stellt zwei Bandspiralen dar, d. h. Spiralen, deren jede aus einem Streifen dünnen Kupferblechs so aufgewunden ist, daß die einzelnen Windungen durch Seiden- oder Baumwollenband voneinander isolirt sind, und deren jede an zwei Streifen von Kupferband hängt, durch welche der Strom zu- und abgeleitet wird. Sind die Spiralen entgegengesetzt durchströmt, so stoßen sie einander ab, sie fahren also auseinander; sind sie aber in gleicher Richtung durchströmt, so ziehen sie einander an, sie klappen also zusammen, selbst wenn man die obern Enden der Aufhängebänder um 2—3 Zoll auseinanderhält.

Hängt man in das Ampère'sche Gestell, Fig. 30,

Taf. 10, statt des rectangulären Leiters den Schraubendraht (Solenoid), Fig. 31, auf, so verhält sich dieser ganz wie eine Magnetnadel, wenn ein galvanischer Strom ihn durchläuft; seine Axe stellt sich in den magnetischen Meridian, und einem Magnetstab gegenüber verhält sich das eine Ende des durchströmten Schraubendrahts wie ein Nordpol, das andere Ende wie ein Südpol.

Eine durchströmte Magnetisirungsspirale, Fig. 21, wirkt auf den durchströmten und beweglich aufgehängten Schraubendraht, Fig. 31, wie ein Magnetstab. Es findet also vielfache Analogie statt zwischen einem Magnetstab und einer durchströmten Spirale, und darauf baut Ampère seine Theorie des Magnetismus, derzufolge die Erscheinungen des Magnetismus zurückzuführen sind auf die gegenseitige Einwirkung galvanischer Ströme.

Nach Ampère hat man sich jedes Eisenmolecul als beständig von einem elektrischen Strome umkreist zu denken. Ein Eisenstab ist bis zu seinem Maximum magnetisirt, wenn alle Molecularströme eines jeden Querschnitts einander parallel gerichtet sind, wie dies Fig. 32 anschaulich macht; der Stab verliert seinen Magnetismus mehr und mehr, wenn die Elementarströme aus der parallelen Anordnung mehr und mehr in eine regellose gegenseitige Lage übergehen, bei welcher sich die Wirkungen nach außen hin nicht mehr summiren, sondern gegenseitig aufheben.

Statt aller der elementaren parallelen Ströme des Querschnitts eines Magnetstabes, wie sie in Fig. 32 dargestellt sind, kann man sich diesen Querschnitt von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher die Resultirende aller elementaren Ströme ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, wie es Fig. 33 anschaulich macht.

V. Thermo-elektrische Ströme.

Wenn ein geschlossener metallischer Ring aus zwei oder mehrern verschiedenen Metallen zusammengesetzt ist, so kann kein Strom entstehen, solange alle Löthstellen gleiche Temperatur haben. Sobald aber eine Löthstelle erwärmt wird, während die andern kalt bleiben, entsteht sogleich ein Strom, welcher seines Ursprungs wegen als thermo-elektrischer Strom bezeichnet wird.

In Fig. 36, Taf. 10, stellt po einen Wismutstab dar, auf welchem ein kupferner Bügel mn aufgelöthet ist. In der Mitte des Raums, welcher zwischen beiden bleibt, ist eine Stahlspitze angebracht, welche eine Magnetnadel trägt. Wird nun der Apparat so aufgestellt, daß die Längskanten von po in der Richtung des magnetischen Meridians liegen, so stellt sich die Magnetnadel in der Mitte des Bügels ein. Sobald aber eine der Löthstellen, etwa o erwärmt wird, erfolgt eine Ablenkung der Nadel.

Noch leichter lassen sich die thermo-elektrischen Ströme mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 35 nachweisen. An einen Wismutstab ist an einem Ende der Kupferstreifen ca, am andern Ende der Kupferstreifen bd angelöthet. Wird nun c mit dem einen, d mit dem andern Ende der Drahtwindungen eines Multiplicators in Verbindung gebracht, so erfolgt eine Ablenkung der Multiplicatornadel, sobald die eine der beiden Löthstellen, etwa die bei a, erwärmt wird.

Die verschiedenen Metalle lassen sich in eine Reihe ordnen, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn man aus zwei Metallen dieser Reihe einen geschlossenen Ring bildet und eine Löthstelle erwärmt, alsdann der positive Strom an der erwärmten Stelle von dem in der Reihe höher stehenden Metall zu dem tiefer stehenden geht. Folgendes ist eine solche thermo-elektrische Spannungsreihe:

Wismut,	Kupfer,
Platin,	Eisen,
Kupfer,	Antimon.

Bei gleicher Temperaturdifferenz ist der elektrische Strom, welchen die Combination zweier Metalle liefert, um so stärker, je weiter sie in der thermo-elektrischen Spannungsreihe auseinanderstehen. So wird z. B. eine Combination von Wismut und Antimon einen stärkern Strom geben als eine solche von Wismut und Kupfer.

Zwei Stücke verschiedener Metalle bilden, wenn sie zusammengelöthet werden, ein thermo-elektrisches Element. So wie mehrere Volta'sche Elemente zu einer Säule verbunden werden können, so können auch mehrere thermo-elektrische Elemente zu einer thermo-elektrischen Säule verbunden werden. Fig. 37 stellt eine aus 4 Wismut-Antimon-Elementen zusammengesetzte thermo-elektrische Säule dar. Die lineare Thermosäule, deren äußere Ansicht Fig. 16, Taf. 7, darstellt, ist aus 15 in einer Verticalebene liegenden Thermo-Elementen zusammengesetzt. Die Thermosäule Fig. 59, Taf. 6, besteht aus 25 Wismut-Antimon-Elementen, welche zu einem quadratischen Bündel zusammengefaßt sind.

Wenn nun an einer thermo-elektrischen Säule die Löthstellen 1, 3, 5, 7 u. s. w. erwärmt werden, während die auf der andern Seite liegenden Löthstellen 2, 4, 6, 8 u. s. w. kalt bleiben, so entsteht ein Strom, welcher n mal stärker ist als der eines einzelnen Elements, wenn die Säule aus n Elementen gebildet wird.

Wir haben schon oben Seite 32 gesehen, wie solche aus Wismut-Antimon-Elementen gebildete Säulen zu Untersuchungen über strahlende Wärme benutzt werden.

Diese Säulen, welche dazu dienen, geringe Temperaturdifferenzen merklich zu machen, können nicht zur Erzeugung starker Ströme verwendet werden, weil bei bedeutender Erhitzung eine Schmelzung eintritt. Zur Erzeugung starker thermo-elektrischer Ströme muß man Metalle wählen, welche nicht so leicht schmelzen. So stellt z. B. Fig. 38, Taf. 10, die Marcus'sche Thermosäule dar, welche aus Streifen von Neusilberblech und Stäben einer Legirung von Zink und Antimon gebildet ist. Die obern Verbindungsstellen werden durch Weingeist- oder Gasflammen erwärmt, während die untern in kaltes Wasser eingetaucht sind.

Die thermo-elektrischen Ströme bringen alle Wirkungen gewöhnlicher galvanischer Ströme nur in ungleich schwächerm Maße hervor.

VI. Inductionsströme.

Fig. 33, Taf. 7, stellt eine Magnetisirungsspirale B dar, welche aus etwas dickem übersponnenem Kupferdraht gebildet ist, und welche in der Höhlung einer ähnlichen Spirale A steckt, die aus viel mehr Windungen eines weit dünnern übersponnenen Kupferdrahtes gebildet ist.

Die Spirale B heißt die Haupt-, A heißt die Nebenspirale. Die Drahtenden a und b der Nebenspirale sind durch Leitungsdrähte mit den Drahtenden des entfernt aufgestellten Multiplicators M verbunden. Von dem einen Pole n eines Bunsen'schen Bechers führt ein Leitungsdraht zu dem Drahtende d der Hauptspirale, vom Pol p führt ein Draht zu einem Quecksilbernäpfchen. Sobald nun ein Draht, welcher an dem Drahtende c der Hauptspirale befestigt ist,

gleichfalls in das Quecksilbernäpfchen eingetaucht wird, bildet die Hauptspirale den Schließungsbogen des Bechers, es circulirt nun ein Strom in der Hauptspirale B.

In dem Moment, in welchem dieser Strom entsteht, wird auch ein Strom im Nebendraht A inducirt, wie man aus der Ablenkung der Nadel des Multiplicators M ersieht. Wenn aber der Hauptstrom in B geschlossen bleibt, so kehrt die Multiplicatornadel nach einigen Schwankungen wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück, der continuirliche Strom der Hauptspirale bleibt also ohne Wirkung auf die Nebenspirale.

Zieht man nun, nachdem die Multiplicatornadel zur Ruhe gekommen ist, das von c kommende Drahtstück wieder aus dem Quecksilbernäpfchen heraus, um den Strom im Hauptdraht B zu unterbrechen, so erfolgt ein abermaliger Ausschlag der Multiplicatornadel, aber nach einer Richtung, welche der des ersten Ausschlags entgegengesetzt ist. Beim Schließen des Hauptstroms wird im Nebendraht ein entgegengesetzt gerichteter, beim Oeffnen (Unterbrechen) des Hauptstroms wird ein ihm gleichgerichteter Strom im Nebendraht inducirt.

Ist p mit c und n mit d durch hinlänglich lange Drähte verbunden, so kann man die durchströmte Hauptspirale nach Belieben in die Nebenspirale einschieben und sie nachher wieder herausziehen. Beim Einschieben der durchströmten Hauptspirale wird ein entgegengesetzt gerichteter, beim Herausziehen wird ein gleichgerichteter Strom im Nebendraht inducirt.

Das Einschieben und Ausziehen eines Magnetstabes in und aus der Spirale A, Fig. 34, wirkt wie das Einschieben und Ausziehen der durchströmten Hauptspirale B, Fig. 33.

Die Inductionsströme bringen die gleichen Wirkungen hervor, wie die galvanischen Ströme, besonders ausgezeichnet aber sind ihre physiologischen Wirkungen. Wenn man an dem Apparat, Fig. 33, den Multiplicator M entfernt und statt dessen in a und b metallene Handgriffe einsetzt, welche an metallenen Schnüren hängen, wie solche an dem Apparat Fig. 43, Taf. 7, angebracht sind, so wird man bei jeder Oeffnung und bei jeder Schließung des Hauptstroms einen Schlag fühlen, ähnlich dem Entladungsschlag einer Leydener Flasche, wenn man den einen Handgriff in die rechte, den andern in die linke Hand nimmt. Diese Schläge werden bedeutend verstärkt, wenn ein Bündel dünner Eisendrähte in die Höhlung der Hauptspirale eingeschoben wird. Uebrigens sind die Oeffnungsschläge heftiger als die Schließungsschläge.

Um Oeffnungs- und Schließungsschläge in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper senden zu können, hat man verschiedene Unterbrechungsvorrichtungen construirt, welche zwischen dem Volta'schen Becher und der Hauptspirale eingeschaltet werden. Wenn das Unterbrechungsrad, Fig. 36, eingeschaltet ist, so erfolgt eine Unterbrechung und Wiederschließung des Hauptstroms, so oft beim Drehen des gezahnten Metallrades z die Metallfeder b von einem Zahn zum andern überspringt. Bei dem magnetischen Hammer, Fig. 37, erfolgt die Oeffnung und Schließung des Stroms bei c in folgender Weise: Wenn der Strom durch die Windungen des kleinen Elektromagnets hindurchgeht, so wird der Eisenkern magnetisch und zieht den eisernen Anker n herab, welcher auf einer Messingfeder befestigt ist; dadurch wird aber auch das Platinplättchen herabgezogen, auf welchem die Platinspitze c aufsitzt, und somit der Strom unterbrochen. Infolge davon verliert sich der Magnetismus, die Messingfeder schnellt wieder in die Höhe, und das Platinplättchen kommt wieder mit der Platinspitze in Berührung, der Strom ist geschlossen, und dasselbe Spiel beginnt von neuem.

Fig. 40, Taf. 10, stellt einen sogenannten Schlittenapparat dar, d. h. einen Inductionsapparat, bei welchem die Nebenspirale B nach Belieben mehr oder weniger über die Hauptspirale A geschoben werden kann, wodurch man es in der Gewalt hat, den Inductionsstrom stärker oder schwächer zu machen. Bei p und q werden die Handgriffe eingeschraubt, die Drähte x und y führen zum elektromotorischen Becher und dem Unterbrecher.

Die kräftigen Schläge, welche Inductionsapparate geben, beweisen, daß die Inductionsströme eine namhafte Spannung haben. Durch Vergrößerung der Dimensionen und sonstige zweckmäßige Arrangements hat man die Spannung der Inductionsapparate so verstärkt, daß sie Funken von namhafter Größe zu liefern im Stande sind, wie dies namentlich beim Ruhmkorff'schen Apparat, Fig. 41, der Fall ist. Die 25 Centimeter lange, aus 2 Millimeter dickem Kupferdraht gebildete Hauptspirale steckt in einer Nebenspirale von gleicher Länge, welche aus 100000 Meter Kupferdraht von $^1/_4$ Millimeter Dicke gebildet ist. Als Unterbrechungsvorrichtung dient ein eigenthümlich construirter magnetischer Hammer. Wenn von dem positiven Polende A der Inductionsspirale eine Drahtleitung zu der Metallspitze s führt, während die Metallplatte t mit dem negativen Pol B der Nebenspirale leitend verbunden ist, so schlagen zwischen s und t bei jeder Unterbrechung des Hauptstroms kräftige Funken auf eine Länge von $^1/_2$ Meter über, während der Schließungsstrom nicht Spannung genug hat, um den Zwischenraum zwischen s und t zu überspringen.

Mit einem großen Ruhmkorff'schen Apparate kann man Leydener Flaschen und Batterien sehr rasch laden, dicke Glasplatten durchschlagen u. s. w.

Sehr schöne Lichterscheinungen beobachtet man, wenn man die Funken des Ruhmkorff'schen Apparats durch luftverdünnte Räume gehen läßt, wozu sich die Geißler'schen Röhren besonders eignen. Es sind dies theilweise erweiterte Röhren, Fig. 38, Taf. 7, an deren Enden Platindrähte eingeschmolzen sind und welche nur noch ganz verdünnte Gase enthalten. Werden die beiden Platindrähte mit den Polen eines Ruhmkorff'schen Apparats verbunden, so erfüllt sich die Röhre mit einem rothen Lichtstrom, welcher vom positiven Platindraht ausgeht, während der negative Platindraht mit einem blauen Glimmlicht umhüllt erscheint.

Fig. 39, Taf. 7, stellt eine Geißler'sche Röhre dar, in welche von unten her ein Eisenstab hineinragt, der ringsum luftdicht von einem Glasrohr umgeben ist. Der Platindraht a endet unten mit einem Metallplättchen n, der Platindraht d trägt einen um den Eisenstab herumgehenden Drahtring m. Werden a und d mit den Polen eines Inductionsapparats verbunden, so geht ein Lichtstrom von n nach m, welcher um den Eisenkern H rotirt, wenn man den Apparat auf den einen Pol eines Elektromagnets setzt und dadurch H magnetisch macht.

Wenn eine stromleitende Spirale nicht von einer zweiten umgeben ist, so wirken beim Schließen und Oeffnen des Stroms die einzelnen Windungen inducirend aufeinander. Im Moment der Schließung wird ein Strom inducirt, welcher dem entstehenden Hauptstrom entgegenwirkt, im Moment des Oeffnens aber ein dem verschwindenden Hauptstrom gleichgerichteter. Diese im stromleitenden Drahte selbst inducirten Ströme heißen Extraströme. Fig. 43, Taf. 7, erläutert das Arrangement eines Extrastrom-Apparats. In den Schließungsbogen des Volta'schen Bechers k ist eine Spirale s und ein Unterbrechungsrad u mit

Handgriffen eingeschaltet. Nimmt man den einen Handgriff in die rechte, den andern in die linke Hand, so bildet der menschliche Körper eine Nebenschließung des Bechers k. So oft nun durch Drehen des Rades u der Hauptstrom in der Spirale s unterbrochen wird, geht der Schlag des Extrastroms durch den Körper.

Um auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen experimentiren zu können, hat man die magnet-elektrischen Rotationsmaschinen (auch Magnetelektrisirmaschinen genannt) construirt. Fig. 39, Taf. 10, stellt eine solche dar. Ein aus mehrern Lamellen zusammengesetzter Hufeisenmagnet liegt wagerecht; in der Mitte zwischen seinen beiden Schenkeln ist eine horizontale Rotationsaxe angebracht, auf deren vorderer Hälfte eine eiserne Platte befestigt ist, welche, gegen die Magnetpole gekehrt, zwei Cylinder von weichem Eisen trägt, auf denen die Inductionsspiralen R aufgesteckt sind.

Wenn nun die besprochene Axe mit jener Eisenplatte, ihren Eisenkernen und Inductionsspiralen in Rotation versetzt wird, so werden die Eisenkerne bald dem einen, bald dem andern Pole des Hufeisenmagnets genähert, und dadurch werden in den Inductionsspiralen Ströme inducirt, deren Richtung bei jeder halben Umdrehung einmal wechselt. Die in den Spiralen abwechselnd nach der einen und andern Richtung gehenden Ströme werden nun durch einen hier nicht näher zu beschreibenden Commutator stets in gleicher Richtung durch den Körper gesendet, welcher in den Schließungsbogen des Apparats eingeschaltet ist. Faßt man z. B. mit den beiden Händen die in unserer Figur dargestellten Handgriffe, so erhält man kräftige Schläge. — Der Strom der Magnetelektrisirmaschine bringt chemische und thermische Effecte hervor, wie die gewöhnlichen galvanischen Ströme.

Auch der Erdmagnetismus inducirt elektrische Ströme in Spiralen, welche um eine feste Axe umgedreht werden, und zwar am stärksten, wenn die Umdrehungsaxe des Erdinductors, Fig. 43, Taf. 10, rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht. Die in der rotirenden Spirale MN durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme werden mittels eines Commutators stets in gleicher Richtung durch einen Multiplicator gesendet, dessen Ablenkung ein Maß für die Stärke der inducirten Ströme ist.

Wenn ein Magnet in der Nähe eines guten Leiters oder ein Leiter in der Nähe kräftiger Magnetpole bewegt wird, so werden in dem Leiter Ströme inducirt, welche der sie hervorrufenden Bewegung hemmend entgenwirken. Auf das obere Ende der Spiralen des Elektromagnets, Fig. 24, Taf. 10, wird ein Bret A, Fig. 44, Taf. 10, aufgeschoben, welches zwei runde Löcher enthält, aus welchen die beiden Eisenkerne noch etwas vorragen. Auf jeden der Eisenkerne wird dann ein Halbanker aufgesetzt, wie ihn die Figur zeigt. Auf die Mitte des Bretes A wird sodann der Träger, Fig. 40, Taf. 7, aufgeschraubt, an welchem von einem Faden getragen ein massiver Kupferwürfel so hängt, daß er sich gerade zwischen den Polspitzen N und S′, Fig. 44, Taf. 10, befindet. Während nun der Strom des Elektromagnets nicht geschlossen, also der Magnetismus der Eisenkerne nicht erregt ist, wird der Faden, an welchem der Würfel hängt, stark tordirt und dann losgelassen. Der Faden dreht sich nun wieder auf und der Würfel geräth in rasche Rotation, welche aber sogleich aufhört, wenn der Strom geschlossen wird, welcher die Spiralen durchlaufend den Elektromagnet in Thätigkeit setzt.

Fig. 42, Taf. 10, zeigt einen Magnetstab, welcher an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden aufgehängt und von einem in sich geschlossenen Kupferbügel umgeben ist. Wenn nun der Magnetstab durch irgendeine Ursache in Schwingungen versetzt wird, so nehmen dieselben viel rascher ab, der Magnet kommt viel rascher zur Ruhe, als wenn der Kupferbügel fehlte, weil der bewegte Magnetstab in dem Bügel Ströme inducirt, welche seinen Oscillationen hemmend entgegenwirken. Eine solche Dämpfung ist z. B. auch an dem transportabeln Magnetometer Fig. 24, Taf. 8, angebracht, indem der Multiplicatordraht auf einem massiven Rahmen von Kupfer aufgewunden ist.

VII. Diamagnetismus.

Wenn man ein von einem Faden getragenes Stäbchen, Fig. 45, Taf. 10, irgendeiner Substanz zwischen den Polen N und S′, Fig. 44, eines großen Elektromagnets aufhängt, so wird es irgendeine durch den Faden bedingte Gleichgewichtslage annehmen, solange der Elektromagnet noch nicht in Thätigkeit gesetzt ist. Wird aber der Elektromagnet erregt, so stellt sich das Stäbchen entweder in die Verbindungslinie der beiden Pole, oder rechtwinkelig zu derselben, Fig. 41, Taf. 7. Ersteres wird die axiale, letzteres wird die äquatoriale Einstellung genannt. Die axial sich einstellenden Substanzen sind die magnetischen, die äquatorial sich einstellenden nennt man diamagnetisch.

Die magnetischen Körper werden von den Magnetpolen angezogen, die diamagnetischen werden abgestoßen.

Außer dem Eisen ergeben sich bei dieser Prüfung, wenn auch bedeutend weniger intensiv, als magnetisch die Metalle Kobalt und Nickel, und noch weit schwächer als diese Mangan, Platin und Palladium. Fast alle übrigen Körper sind diamagnetisch; besonders stark ist der Diamagnetismus des Wismuts.

Zu Versuchen über Diamagnetismus ist auch die in Fig. 42, Taf. 7, dargestellte Form des Elektromagnets sehr geeignet.

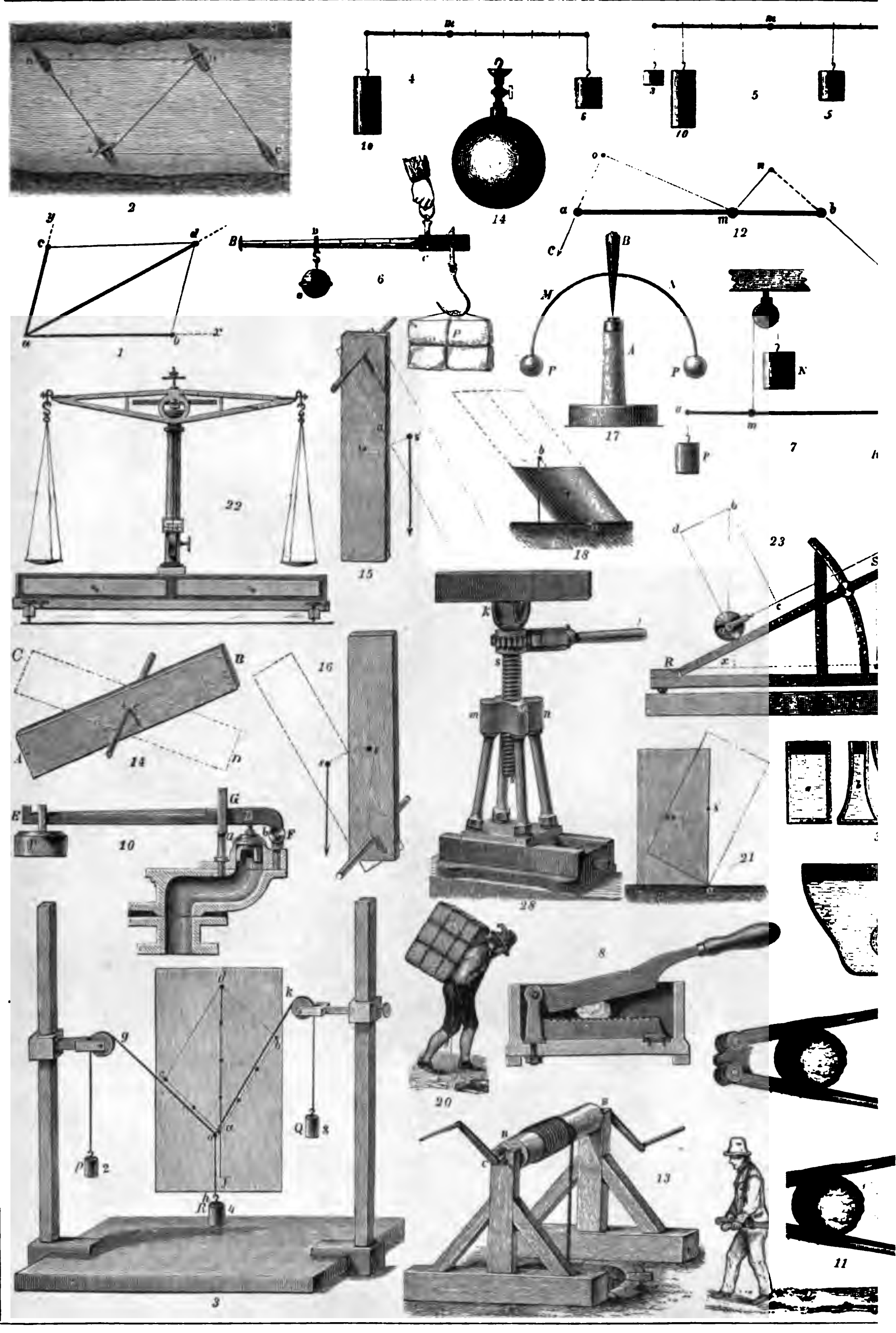
Um Flüssigkeiten auf ihr magnetisches oder diamagnetisches Verhalten zu prüfen, setzt man sie in Uhrgläsern auf die mehr oder weniger genäherten Halbanker, Fig. 44 oder 45, Taf. 7. Ist die Flüssigkeit magnetisch, wie z. B. eine Lösung von Eisenchlorid, so erhebt sie sich zu einem oder zu zwei Hügeln über den Polen der Halbanker, je nachdem diese Pole mehr (Fig. 44) oder weniger (Fig. 45) einander genähert sind. Für diamagnetische Flüssigkeiten, z. B. für Schwefelkohlenstoff, bilden sich Thäler an der Stelle, wo für magnetische Flüssigkeiten Hügel aufsteigen.

Zum Schluß haben wir noch die Wirkung kräftiger Elektromagnete auf durchsichtige Körper zu betrachten. Die Axen des Elektromagnets, Fig. 42, sind durchbohrt, und bei a sowol wie bei b ist ein Nicol'sches Prisma eingesetzt. Zwischen den einander zugekehrten Polen der durchbohrten Eisenkerne ist ein durchsichtiges Stäbchen c, etwa ein Prisma von schwerem Glase (kiesel-borsaures Bleioxyd) eingesetzt. Wenn die Nicols gekreuzt sind, so erscheint, wenn man von a aus durch den Apparat hindurch nach der Lampenflamme schaut, das Gesichtsfeld dunkel, solange der Elektromagnet nicht erregt ist; sobald er aber in Thätigkeit gesetzt wird, erblickt man die Flamme, und man muß das Nicol a um einen bestimmten Winkel nach rechts oder nach links drehen, um das Gesichtsfeld wieder dunkel zu machen.

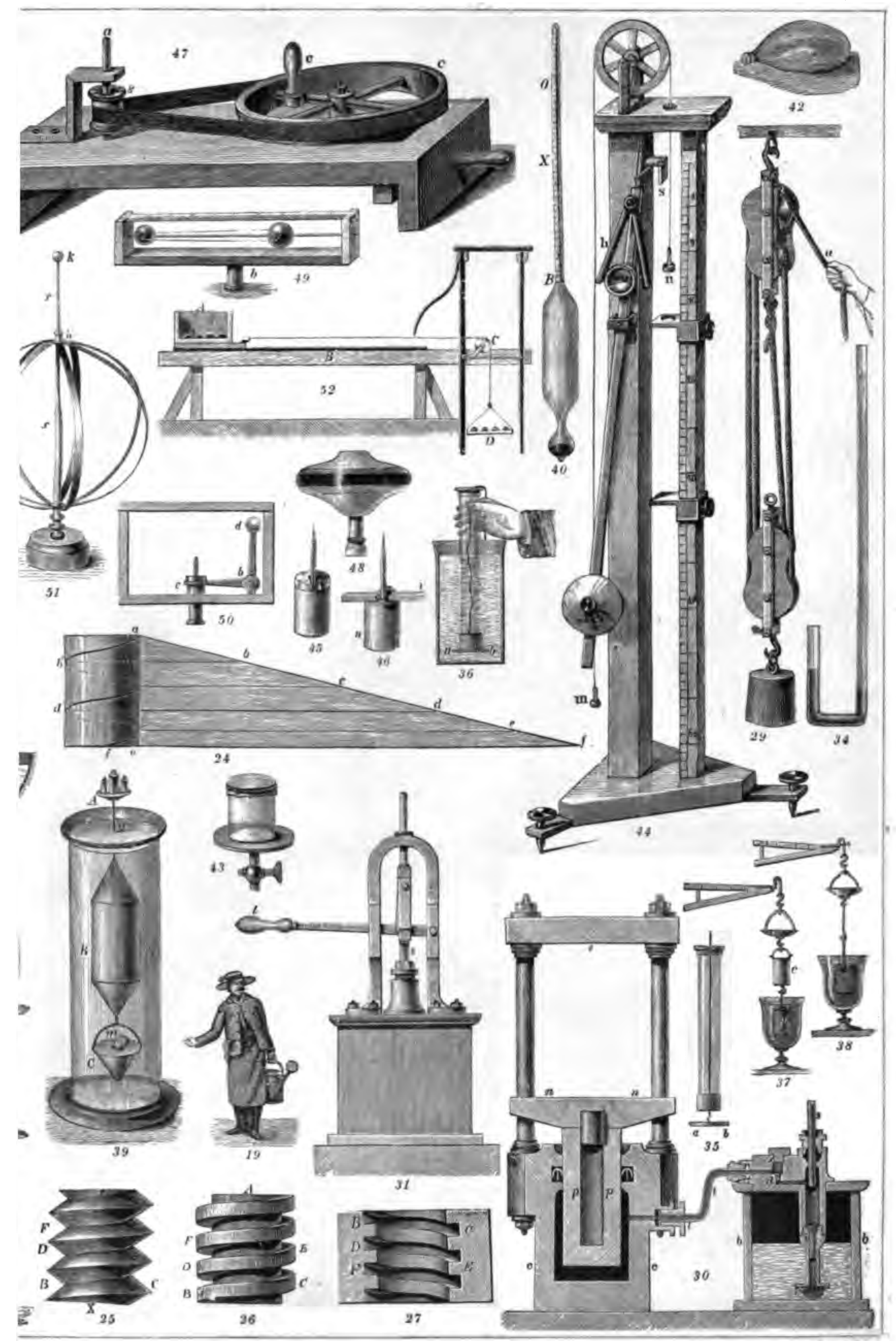
Durch den Einfluß kräftiger Magnetpole wird also in durchsichtigen diamagnetischen Stoffen die Erscheinung der Circularpolarisation hervorgerufen.



Ph



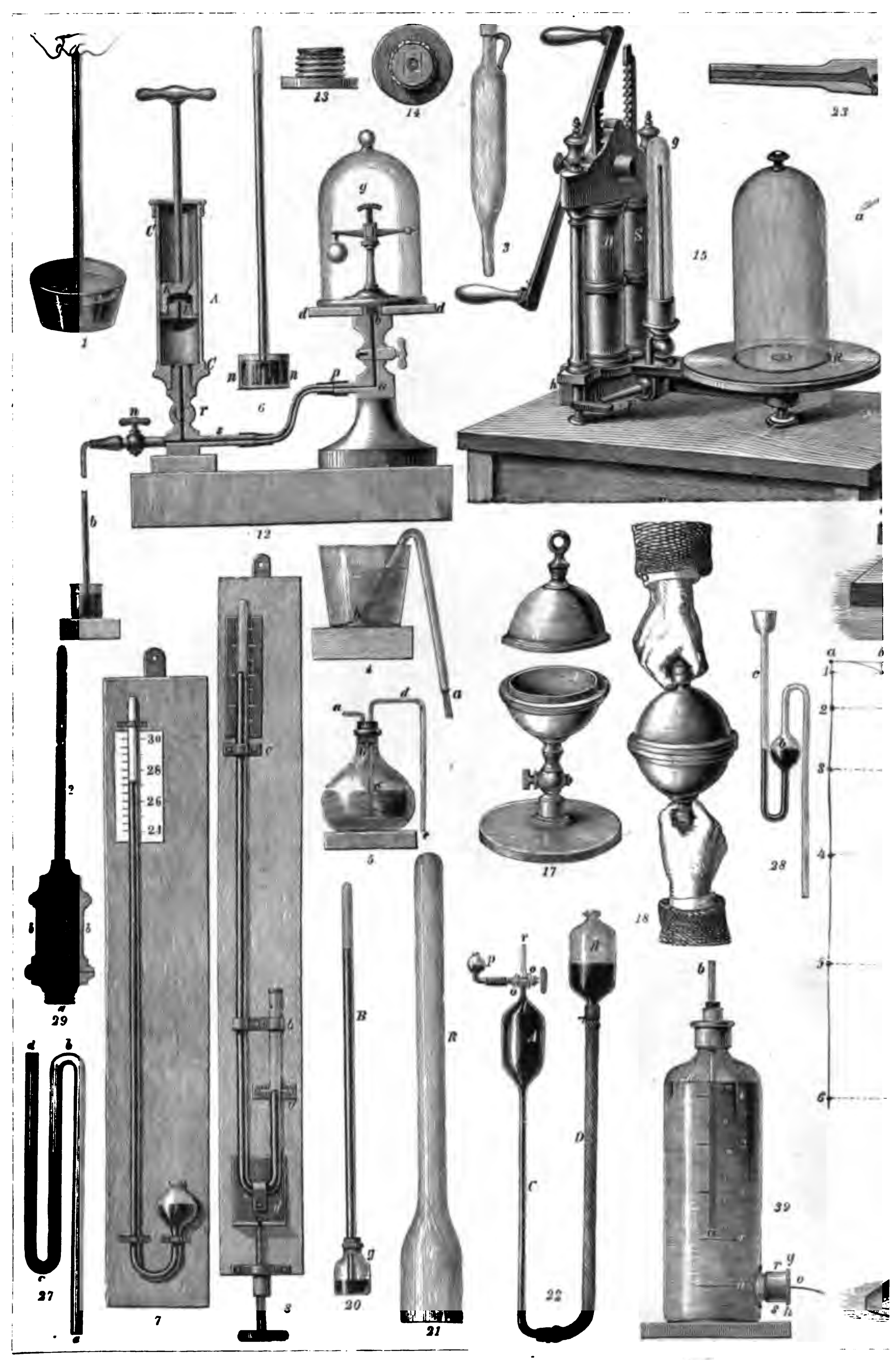
1-3 *Parallelogramm der Kräfte.* 4-6 *Zweiarmige Hebel.* 7-10 *Einarmige Hebel.* 11 *Vertheilung des Drucks.* 12 *I*
Körper. 18-21 *Stabilität stehender Körper.* 22 *Wage.* 23 *Schiefe Ebene.* 24 *Schraubenlinie.* 25 u. 26 *Scharfes*
32 *Bodendruck der Flüssigkeiten.* 33 u. 34 *Communicirende Röhren.* 35 u. 36 *Auftrieb.* 37 u. 38 *Gewichtsverlust unte*
44-46 *Fallmaschine.* 47-51 *Schwung*



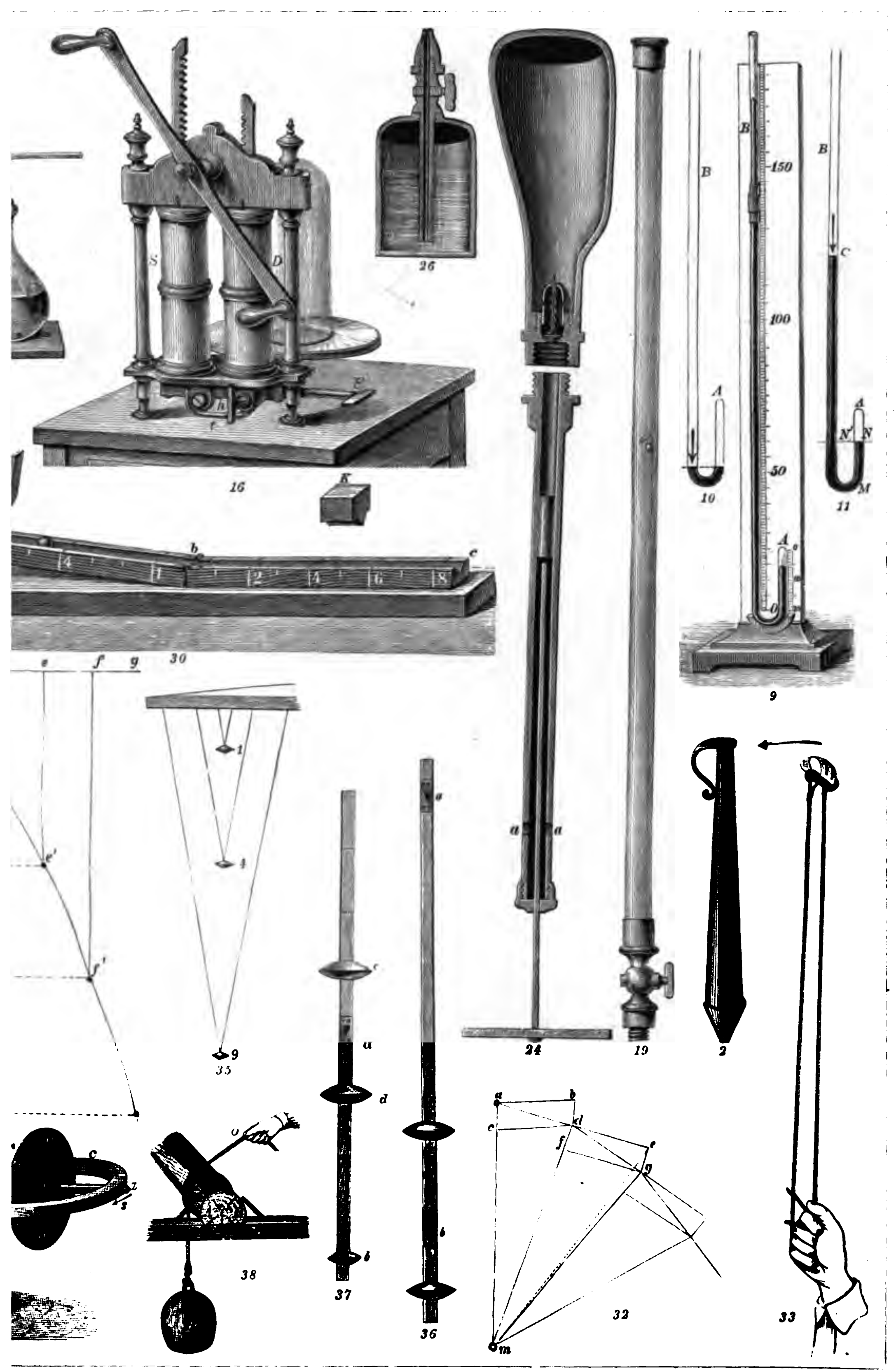
iefwinkelig angreifenden Kräften. 13 Haspel. 14-17 Indifferentes, stabiles und labiles Gleichgewicht aufgehängter Schraubengewinde. 27 Schraubenmutter. 28 Schraubenwinde. 29 Flaschenzug. 30 u. 31 Hydraulische Press- Körper. 39 Nicholson's Aräometer. 40 Scalen-Aräometer. 41-43 Schwere, Expansionskraft und Druck der Lu- Nebenapparaten. 52 Tribometer.



P



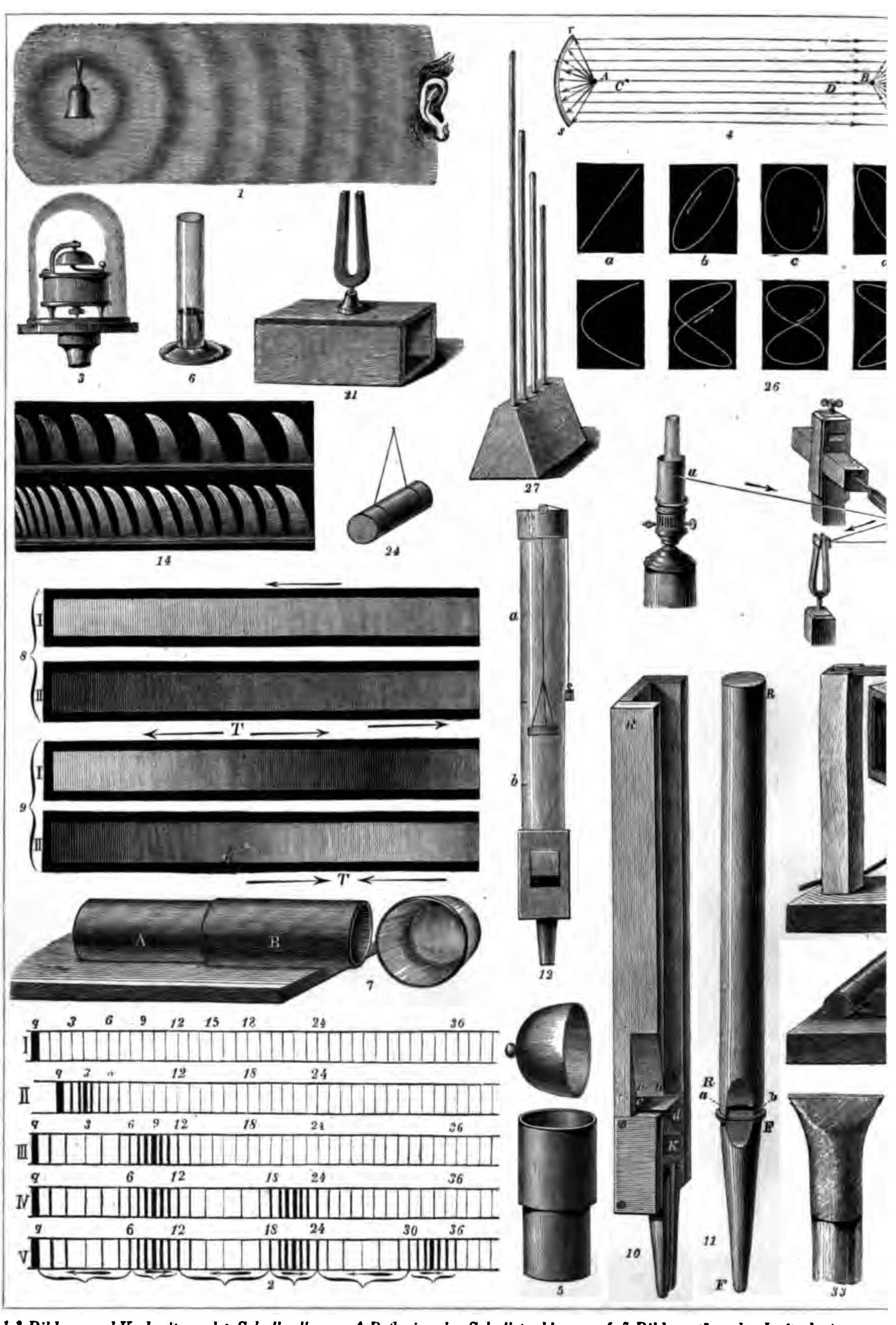
1 *Aufsaugen einer Wassersäule.* 2 u. 3 *Stechheber.* 4 u. 5 *Heber.* 6-8 *Barometer.* 9-11 *Mariotte'sches Gesetz.*
20 u. 21 *Barometer im luftverdünnten Raum.* 22 u. 23 *Quecksilber-Luftpumpe.* 24 *Windbüchse.* 25 u. 26 *Heronsbal*
36 u. 37 *Materielle Pendel.* 38 *Anwe*



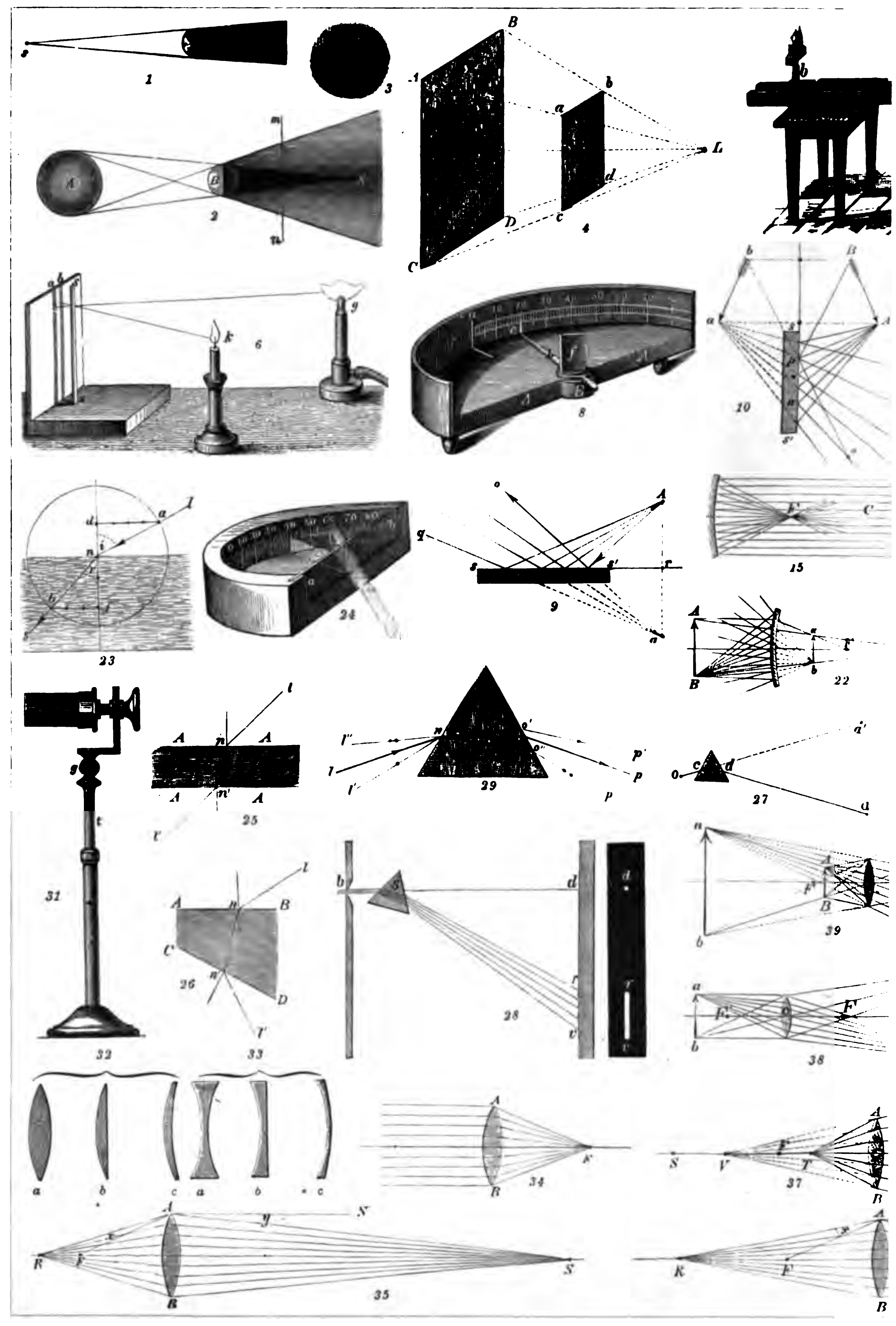
uftpumpe. [15] *u.* [16] *Zweistiefelige Luftpumpe.* [17] *u.* [18] *Magdeburger Halbkugeln.* [19] *Fall im luftleeren Raum.* *meter.* [30] *Fallrinne.* [31] *Wurflinie.* [32] *Centralbewegung.* [33] *Schleuder.* [34] *Gyroskop.* [35] *Einfache Pendel.* *ng.* [39] *Mariotte's Ausflussgefäss.*



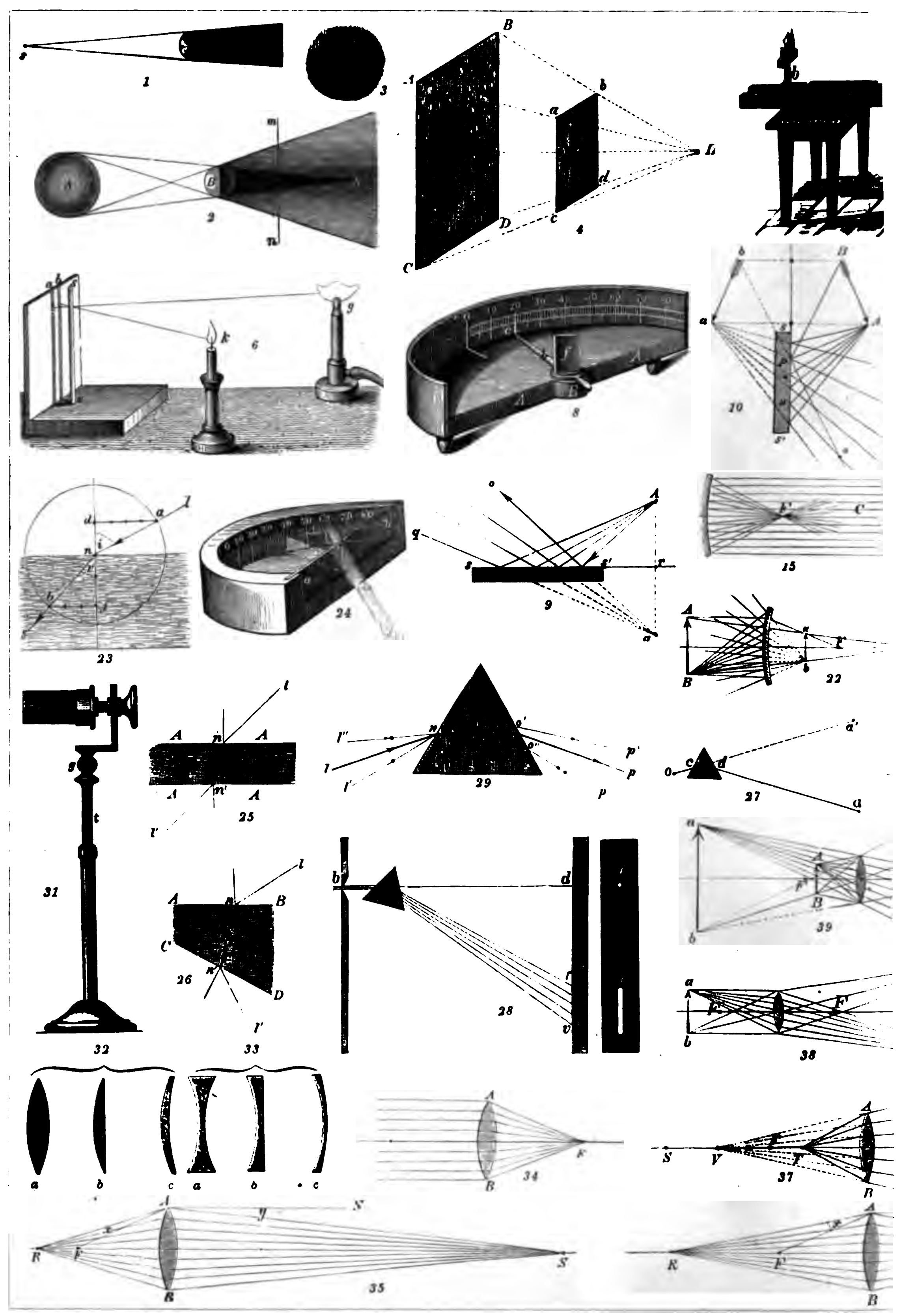
PHY



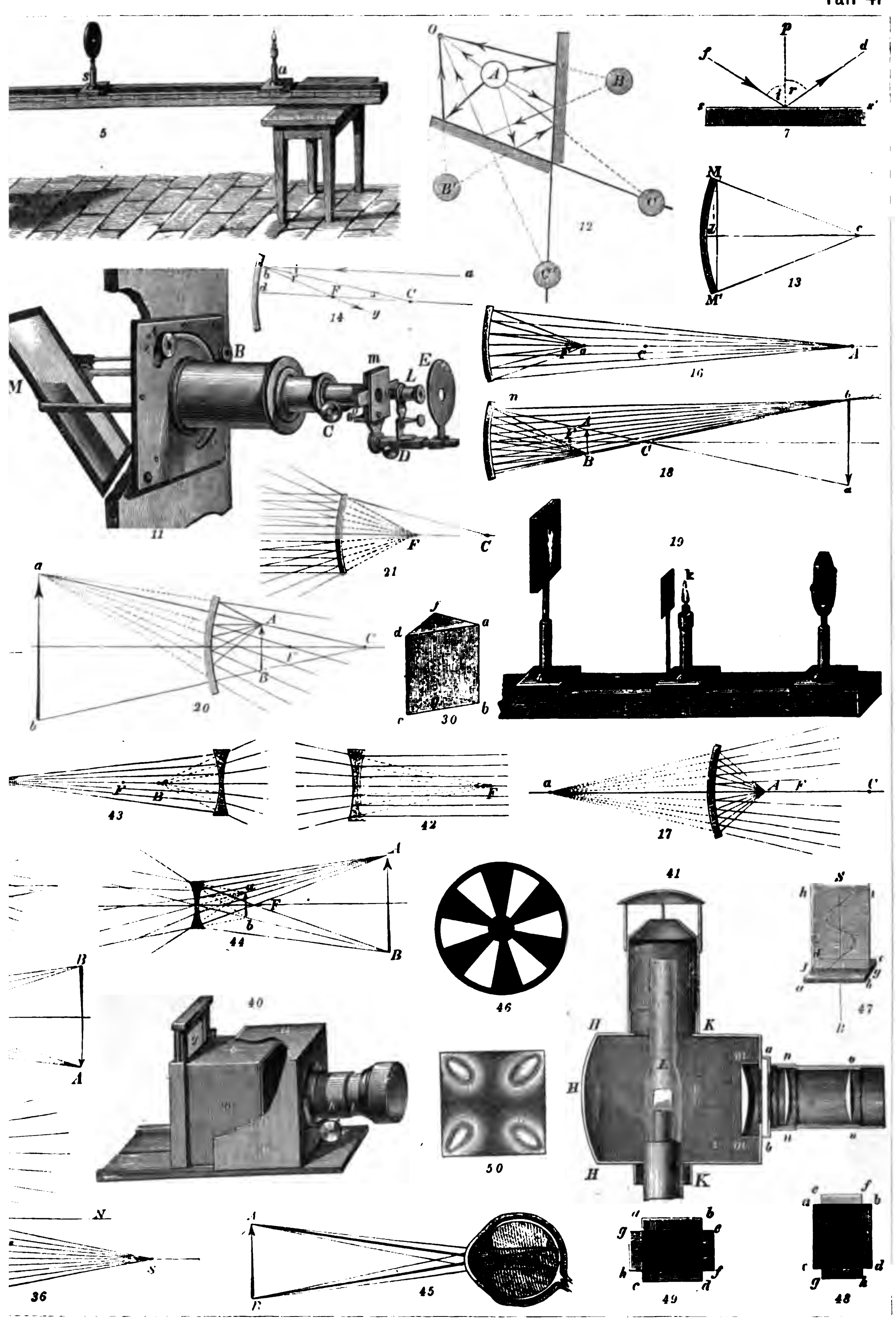
[1-3] Bildung und Verbreitung der Schallwellen. [4] Reflexion der Schallstrahlen. [5-7] Bildung tönender Luftschwingunger knoten in Pfeifen. [13 u. 14] Manometrische Flammen. [15] Sirene. [16 u. 17] Zählung der Stimmgabelschwingungen mit dem Ph[...] [23 u. 24] Nachweis der Grenzen der Hörbarkeit. [25 u. 26] Stimmgabelkurven. [27] Longitudinaltöne ela[...]



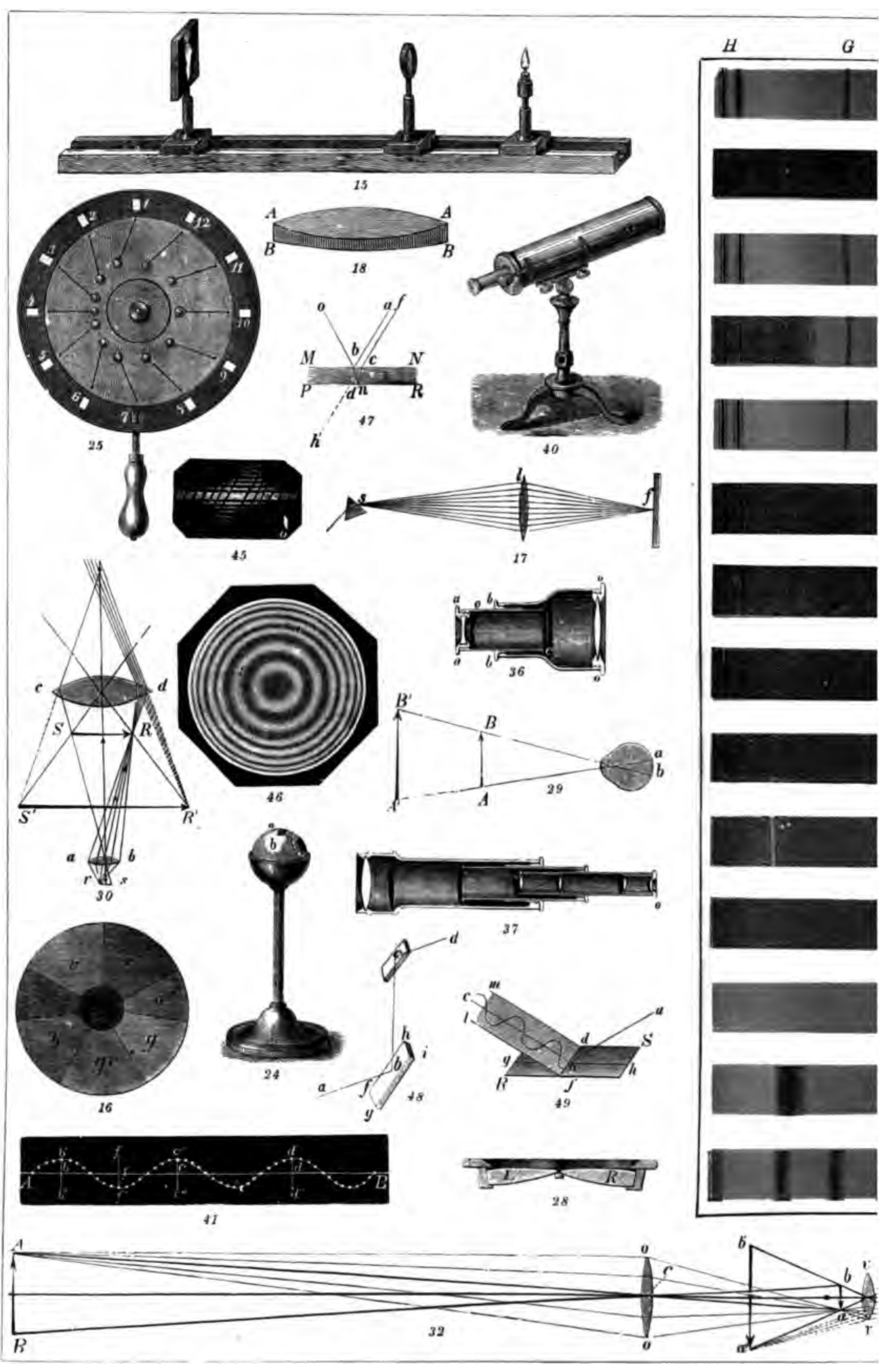
1 Kernschatten. 2 u. 3 Halbschatten. 4-6 Zur Photometrie. 7 u. 8 Das Spiegelungsgesetz und seine experimentelle Bes
Hohlspiegel. 16 u. 17 Conjugirte Punkte der Hohlspiegel. 18-20 Bilder der Hohlspiegel. 21 u. 22 Convexspiegel u
parallelflächige Platten. 26-29 Brechung des Lichtes in Prismen. 30 u. 31 Prismen. 32 u. 33 Linsen. 34 Brennp
41 Laterna magica. 42 u. 43 Zerstreuungspunkt und conjugirte Punkte der Hohllinsen. 44 Bilder der Hohllinsen.
Turmalinplatten. 50 Chromatische



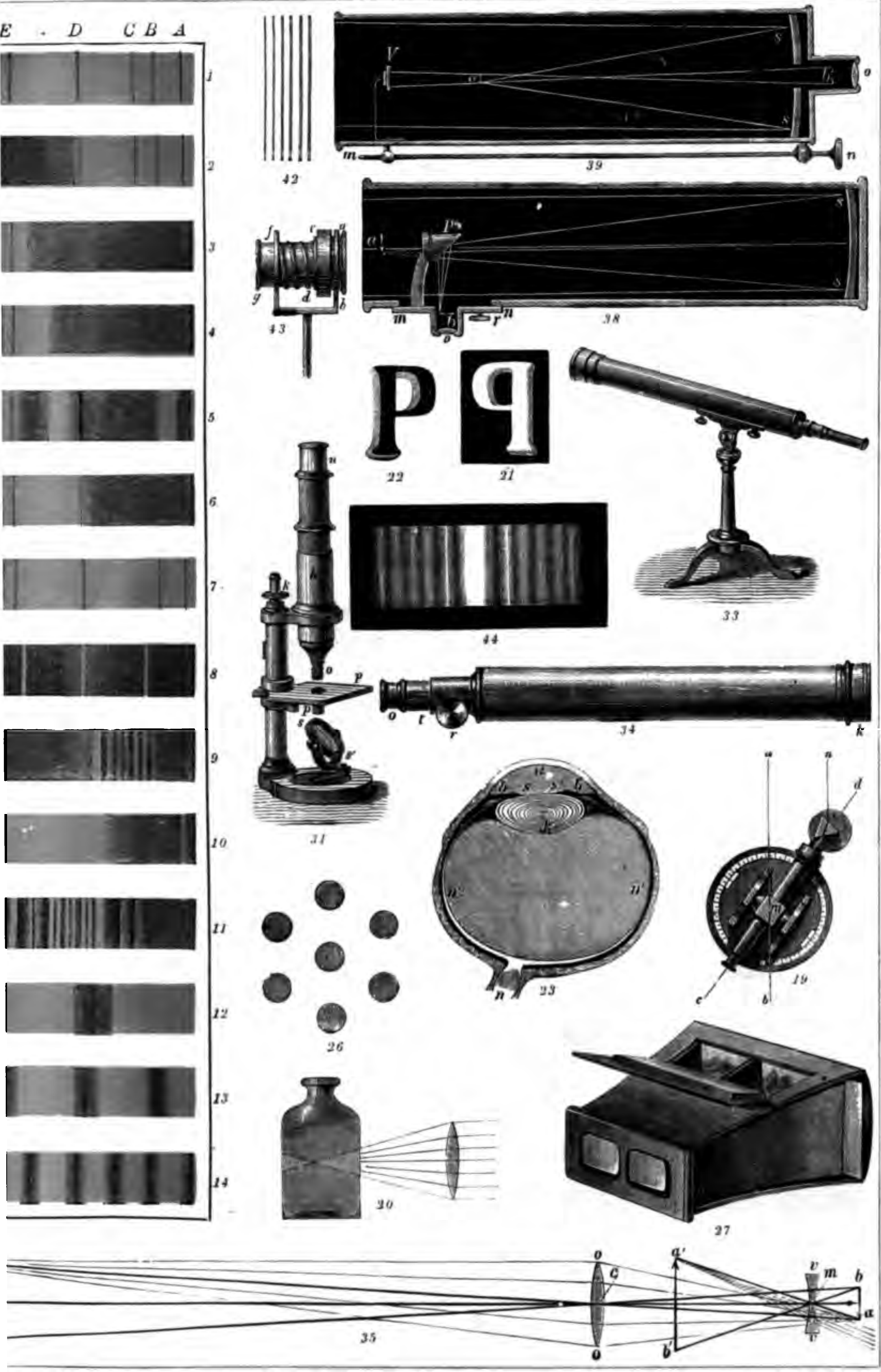
1 Kernschatten. 2 u. 3 Halbschatten. 4-6 Zur Photometrie. 7 u. 8 Das Spiegelungsgesetz und seine experimentelle Bestä
Hohlspiegel. 16 u. 17 Conjugirte Punkte der Hohlspiegel. 18-20 Bilder der Hohlspiegel. 21 u. 22 Convexspiegel und
parallelflächige Platten. 26-29 Brechung des Lichtes in Prismen. 30 u. 31 Prismen. 32 u. 33 Linsen. 34 Brennpun
41 Laterna magica. 42 u. 43 Zerstreuungspunkt und conjugirte Punkte der Hohllinsen. 44 Bilder der Hohllinsen. 45
Turmalinplatten. 50 Chromatische P



g. 9 u. 10 Bilder ebener Spiegel. 11 Sonnenmikroskop. 12 Winkelspiegel. 13 Hohlspiegel. 14 u. 15 Brennpunkt der Bilder. 23 u. 24 Das Brechungsgesetz und seine experimentelle Bestätigung. 25 Durchgang eines Lichtstrahls durch r Sammellinsen. 35-37 Conjugirte Punkte der Sammellinsen. 38 u. 39 Bilder der Sammellinsen. 40 Camera obscu Auge. 46 Rotirende Scheibe zur Demonstration der Dauer des Lichteindrucks. 47-49 Polarisation des Lichtes d *isationsfigur in geglühten Glasplatten.*



1 Sonnenspectrum. 2-7 Absorptionsspectra. 8-11 Flammenspectra. 12-14 Interferenzspectra. 15 Sammel
18 Achromatische Linse. 19 Messung der prismatischen Ablenkung. 20 Fluorescenz. 21 u. 22 Negative und positiv
'arben. 27 u. 28 Stereoskop. 29 Sehwinkel. 30 u. 31 Mikroskop. 32-34 Astronomisches Fernrohr. 35 u.
43 Turmalinzange. 44 u. 45 Beugungsbilder. 46 u. 47 Fa



:linsen. [16] *Newton's Farbenscheibe.* [17] *Erzeugung des weissen Lichts durch Vereinigung der Spectralfarben.* Bilder. [23] *Das Auge.* [24] *Beobachtung des Netzhautbildchens.* [25] *Wunderscheibe.* [26] *Beobachtung subjectiver* Fernrohr. [37] *Terrestrisches Fernrohr.* [38-40] *Spiegelteleskope.* [41] *Lichtwellen.* [42] *Interferenzstreifen.* :chen. [48 u. 49] *Polarisation des Lichts durch Reflexion.*

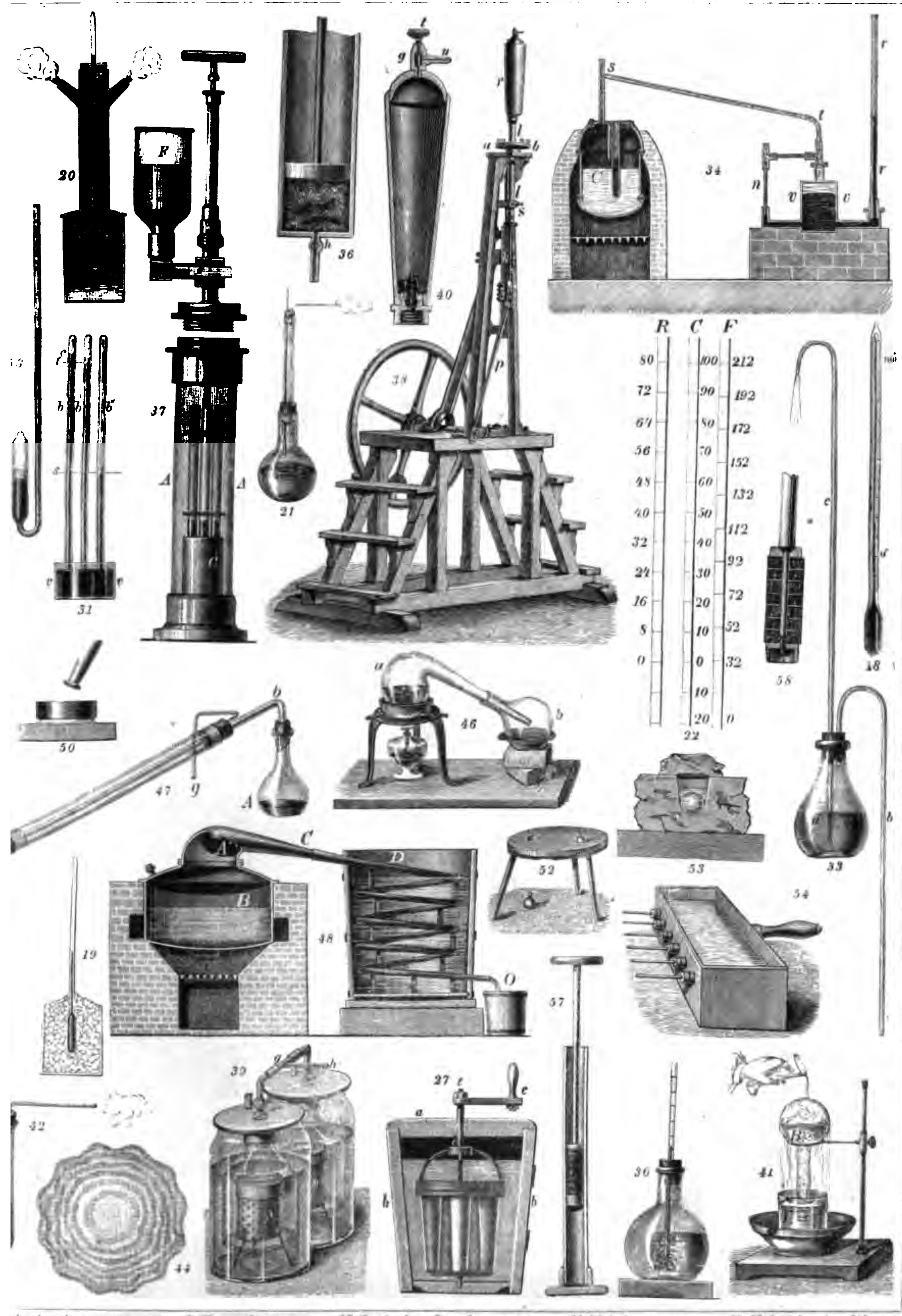




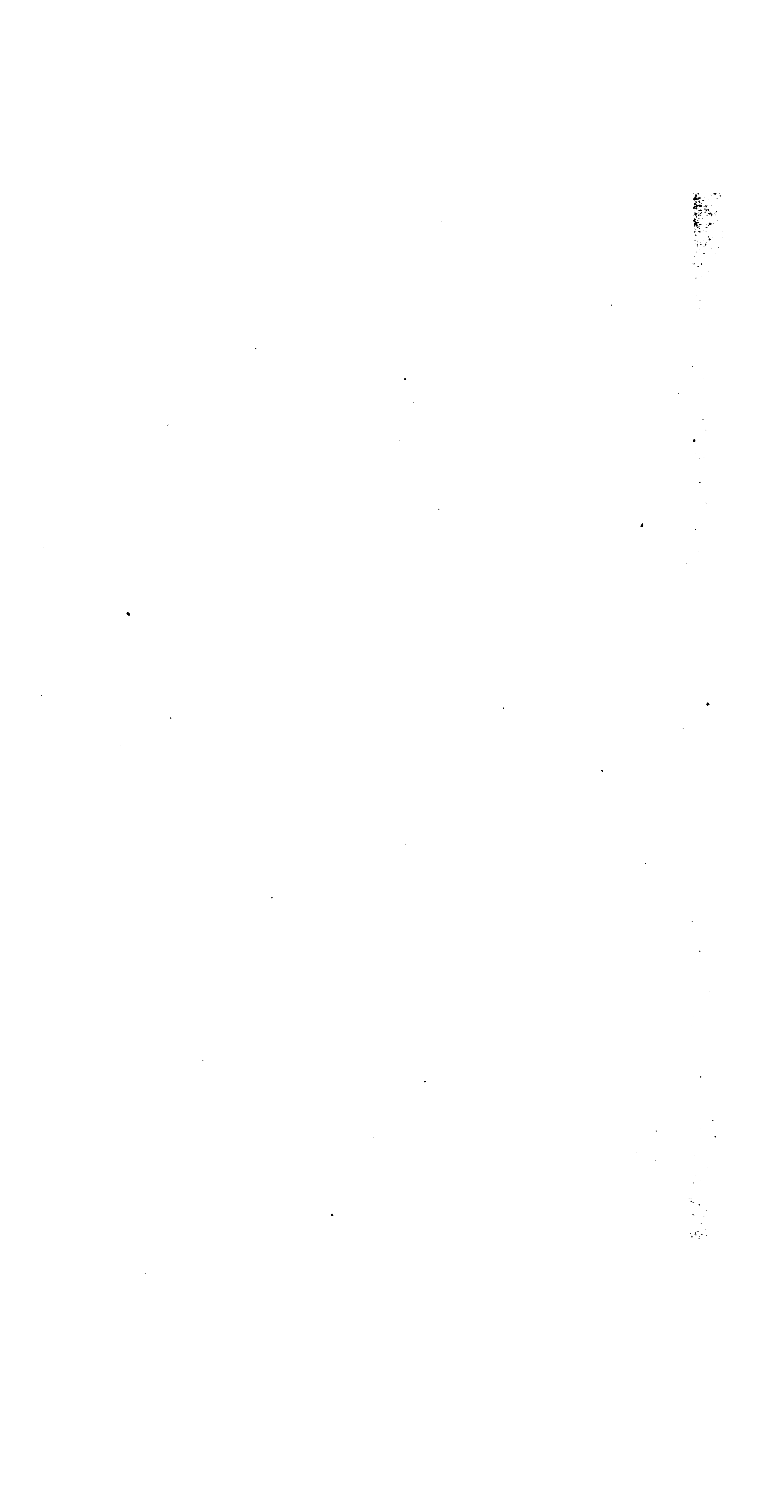
Ph



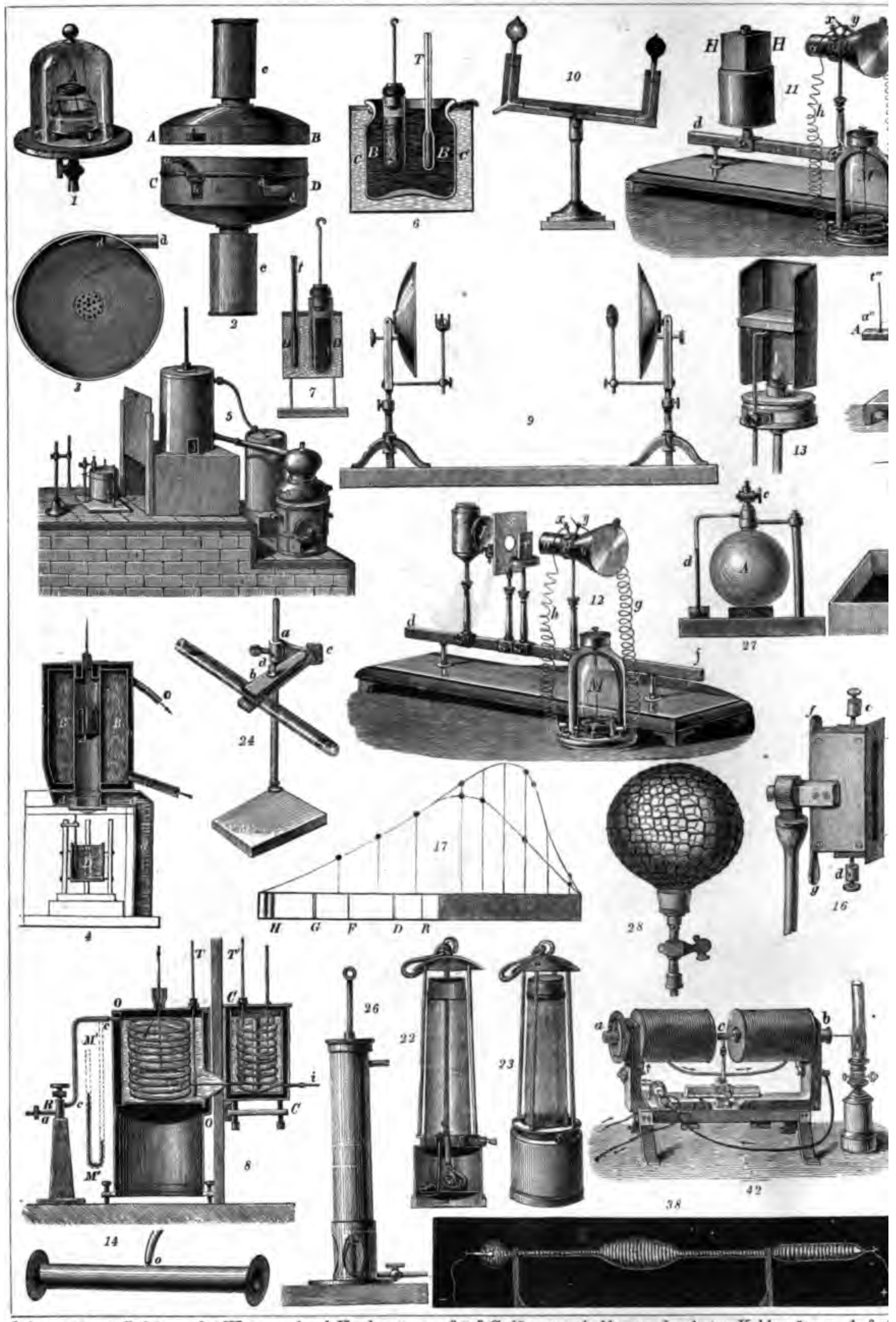
1 Spectralapparat. 2 Copirrahmen. 3 u. 4 Fresnel's Spiegelversuch. 5 Beugungsfigur. 6 Beugungsapparat.
13 Compensationsstreifen. 14 Compensationspendel. 15 Metallthermometer. 16 u. 17 Ausdehnung der Flüssigkeiten.
23 Wasserthermometer. 24 u. 25 Eisbildung in Bomben. 26 Schmelzungswärme. 27 u. 28 Eisapparat. 29 u. 30 F
34 u. 35 Messung der Spannkraft der Dämpfe. 36 Gesättigter und ungesättigter Dampf. 37 Condensation der Gase.
frost'sche Tropfen. 45 Gefrieren des Quecksilbers im glühenden Tiegel. 46-48 Destillirapparate. 49 Bestimmun
54 Wärmeleitung. 55 Verbreitung der Wärme im Wasser durch Strömung. 56



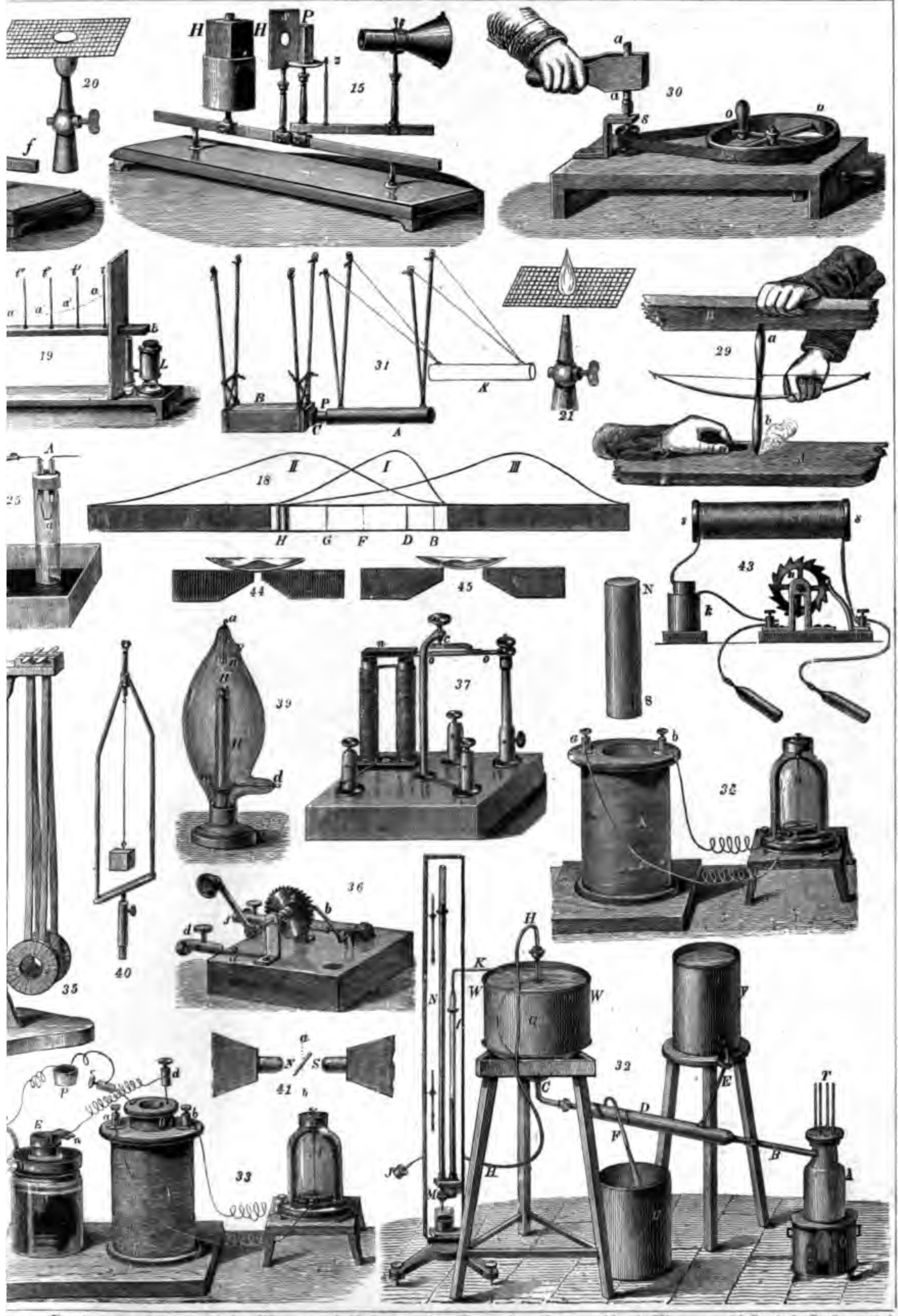
larisationsapparate. 9 Turmalinzange. 10 Optisches Saccharometer. 11 Hebelpyrometer. 12 Kubische Ausdehnung.
ksilberthermometer. 19 Bestimmung des Gefrierpunktes. 20 u. 21 Bestimmung des Siedepunktes. 22 Thermometerscalen.
n der Wärme beim Erstarren. 31 Dampfbarometer. 32 Papinianischer Topf. 33 Vacuum durch Dampfcondensation.
ondensation der Kohlensäure. 41 Sieden des Wassers bei niederm Druck. 42 Siedepunktsbestimmung. 43 u. 44 Leiden-
erdampfungswärme. 50 Eisbildung durch Verdampfung. 51 Kryophor. 52 u. 53 Versuche über specifische Wärme.
eitung im Wasser. 57 u. 58 Pneumatisches Feuerzeug. 59 Thermoelektrische Säule.



PH

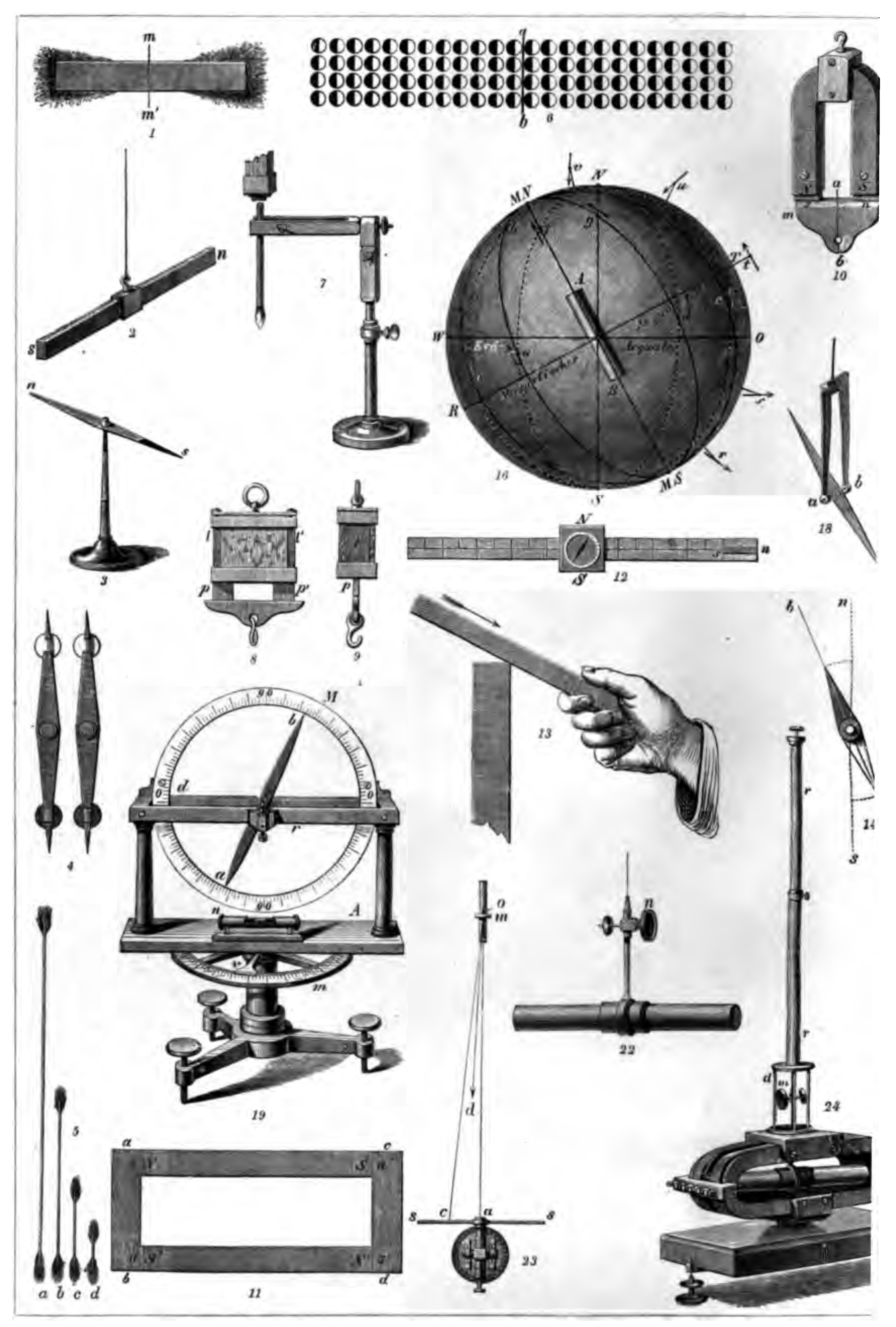


1 Apparat zum Gefrieren des Wassers durch Verdunstung. 2 u. 3 Gefäss zum Auffangen der festen Kohlensäure. 4-8 A
Thermometer. 11, 12 u. 15 Melloni's Apparat für Versuche über strahlende Wärme. 13 Erhitztes Kupferblech als Quelle
des Spectrums. 18 Intensitätscurven der chemischen, optischen u. thermischen Wirkungen des Spectrums. 19 Vergleichu
24 Wärmeleitung des Wassers u. 25 der Gase. 26 Wärmeentwickelung durch Compression der Luft. 27 Specifische Wä
durch Reibung, 31 durch Compression von Blei. 32 Spannkraft der Wasserdämpfe. 33 Inductionsströme. 34 Inductic
38 u. 39 Geissler'sche Röhren. 40 Rotirender Kupferwürfel. 41 Diamagnetische Abstossung. 42 Circu

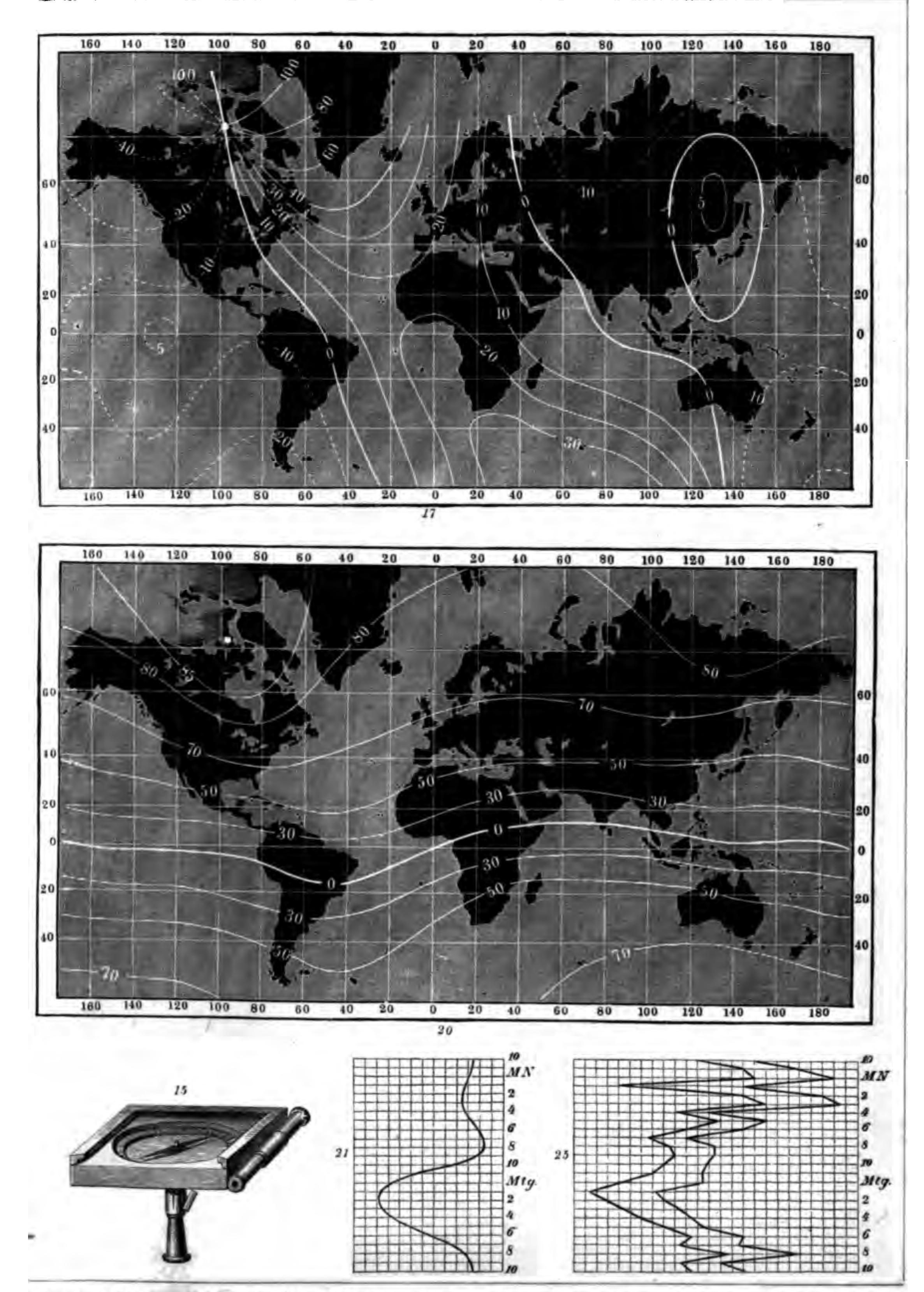


e zur Bestimmung der specifischen Wärme. [9] *Hohlspiegel zu Versuchen über strahlende Wärme.* [10] *Leslie's Differential-*
ärmestrahlen. [14] *Absorption von Wärmestrahlen durch Gase.* [16] *Lineare Thermosäule.* [17] *Thermische Intensitätscurve*
Leitungsfähigkeit fester Körper. [20 u. 21] *Abkühlung der Flamme durch Drahtnetze.* [22 u. 23] *Davy'sche Sicherheitslampe.*
r Luft bei constantem Druck od. Volumen. [28] *Nebelbildung durch Expansion der Dämpfe.* [29 u. 30] Wärmeentwickelung
ne durch Magnete. [35] *Anziehung u. Abstossung paralleler Ströme.* [36] Unterbrechungsrad. [37] Magnetischer Hammer
trisation durch Elektromagnete. [43] *Extraströme.* [44 u. 45] Wirkung von Magnetpolen auf Flüssigkeiten.

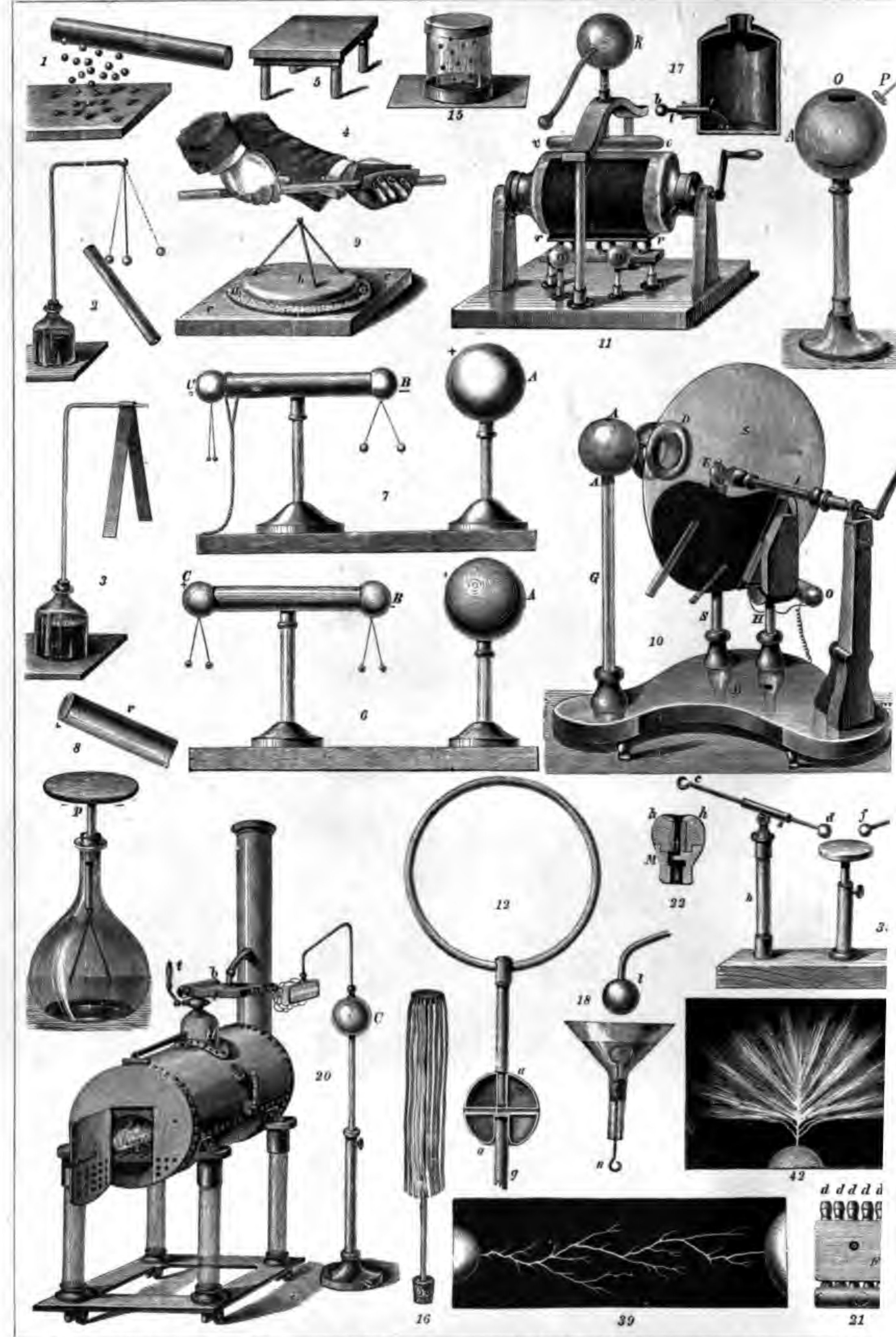
PH



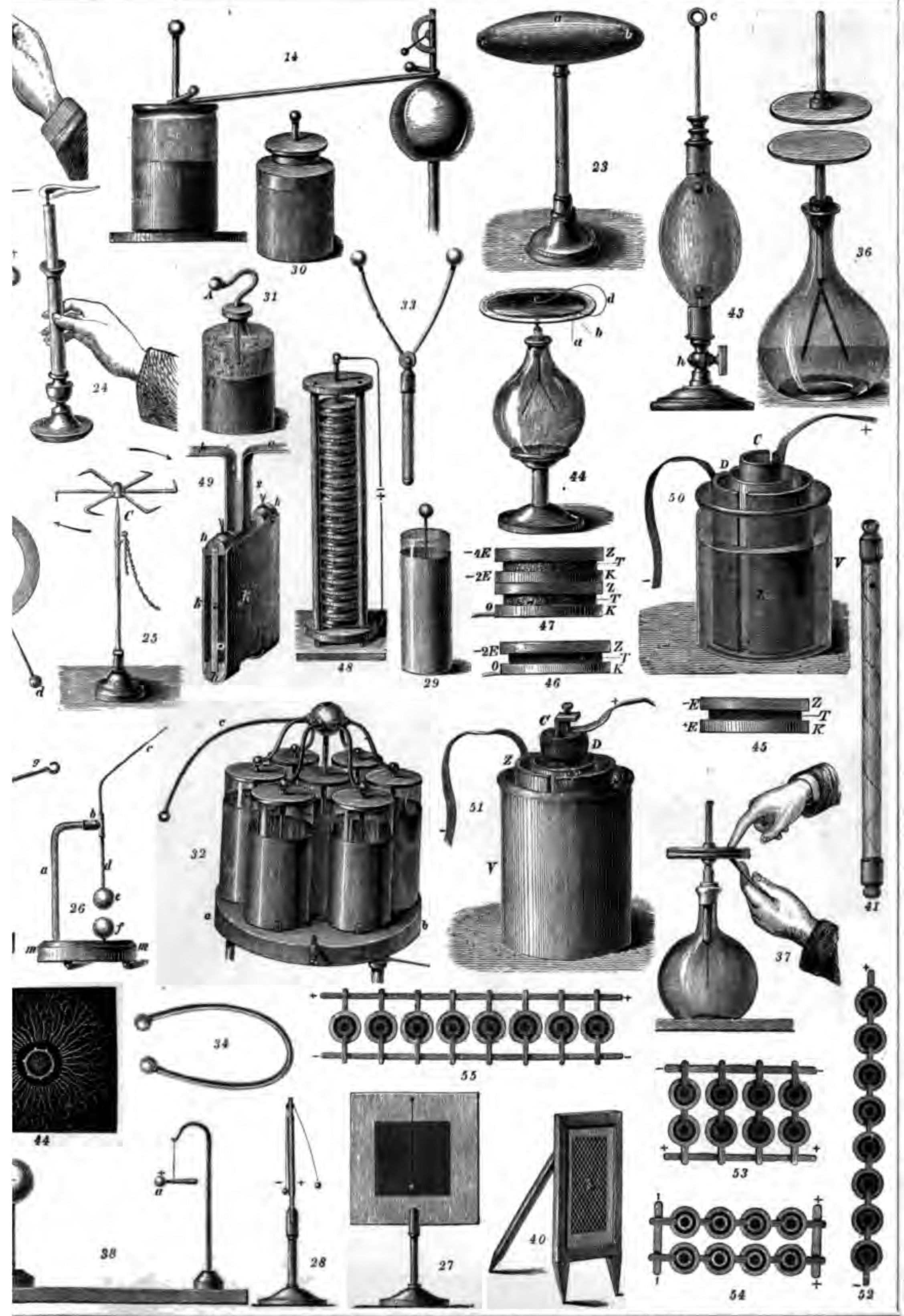
[1] Magnetische Pole. [2] Aufgehängter Magnetstab. [3] Magnetnadel. [4] Magnetnadeln mit markirten Polen. [5] Mehrf
Magnet mit Armatur. [10] Hufeisenmagnet. [11] Magnetische Armatur. [12] Wirkung eines Magnetstabes in die Ferne.
karte. [18] Magnetische Inclination. [19] Inclinatorium. [20] Inclinationskarte.



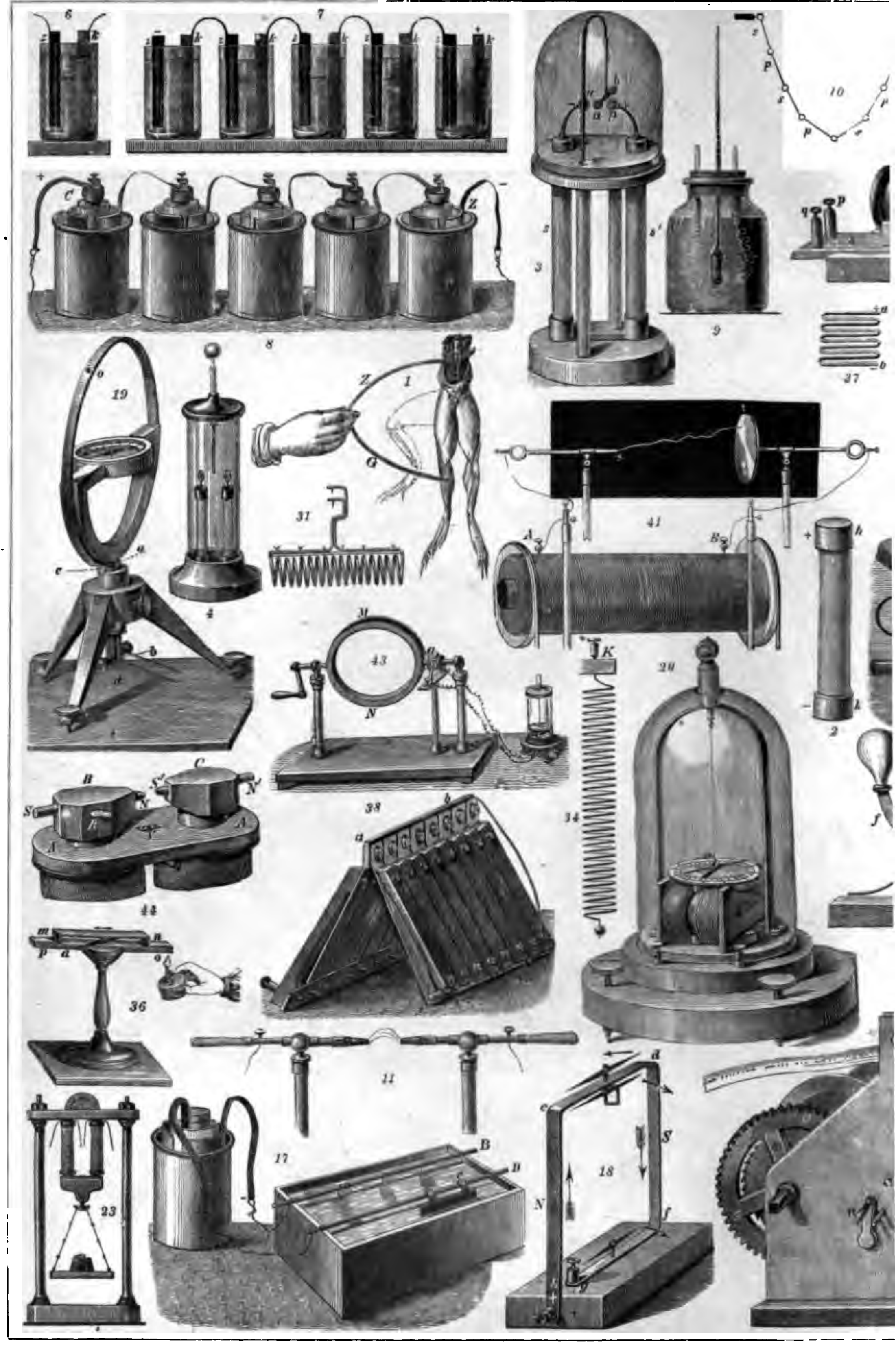
...chbrochenes Magnetstäbchen. [6] Erklärung der magnetischen Polarität. [7] Magnetisirung des Eisens. [8] u. [9] Natürlicher ...gnetisirung durch Streichen. [14] Declination. [15] Declinationsbussole. [16] Magnetismus der Erdkugel. [17] Declinations... ...iche Variationen der Declination. [22-24] Magnetometer. [25] Magnetische Störungen.



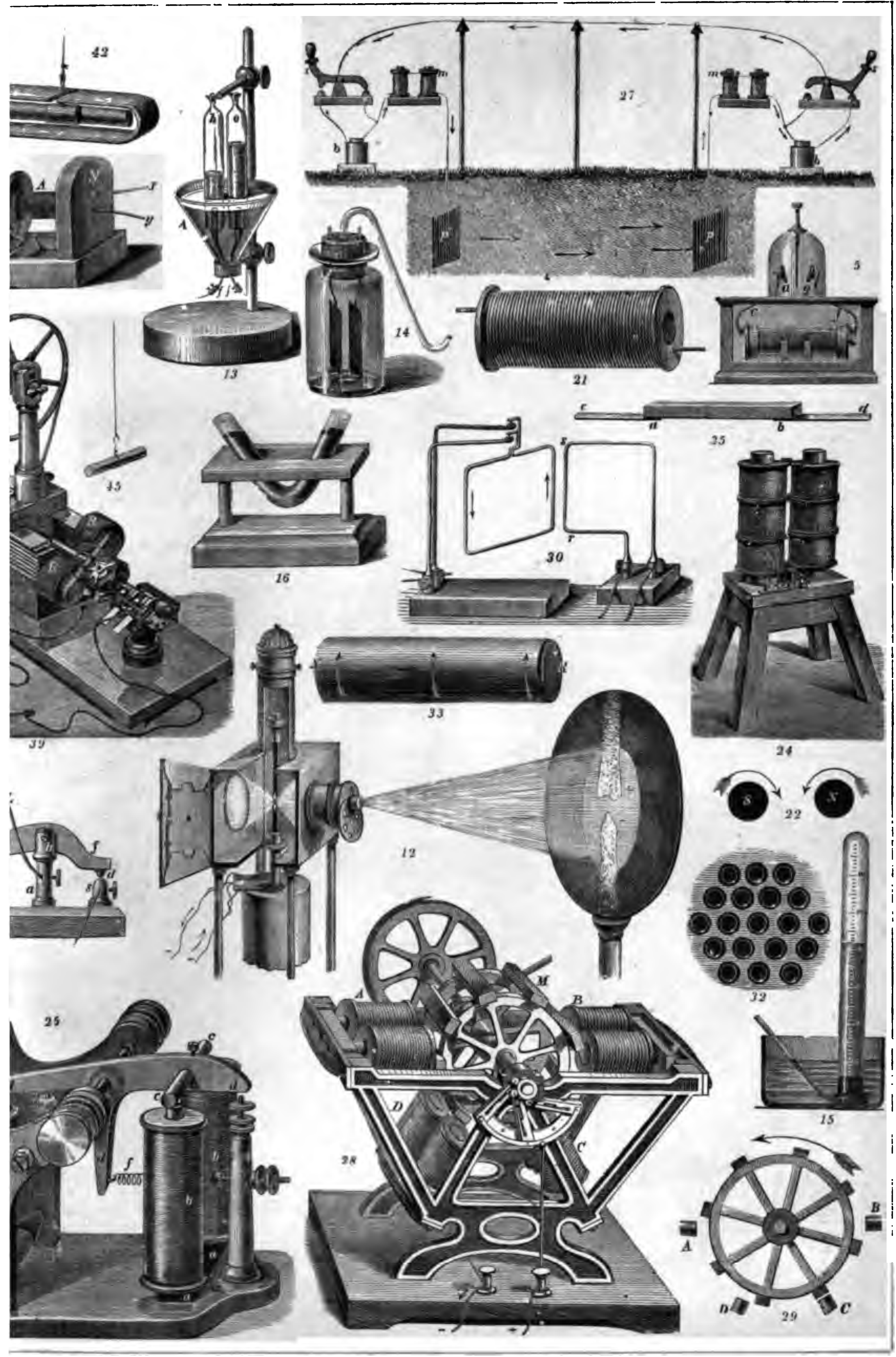
1 Elektrische Anziehung. 2 u. 3 Elektrische Pendel. 4 Erregung der beiden Elektricitäten durch Reibung. 5 Isoli
maschine. 11 Cylinder-Elektrisirmaschine. 12 Conductor der Scheibenmaschine mit Ring. 13 Quadranten-Elektron
Pistole. 18 Elektrische Entzündung des Aethers. 19 Verbreitung der elektrischen Ladung auf der Oberfläche
-26 Elektrische Spitzenwirkung. 27 u. 28 Franklin'sche Tafel. 29-31 Leydener Flaschen. 32 Elektrische Bat
ntfernung. 39 Elektrischer Funke. 40 Blitztafel. 41 Blitzröhre. 42 Elektrische Büschel. 43 Elektrisches
50 Daniell'scher Becher. 51 Bunsen'scher Be



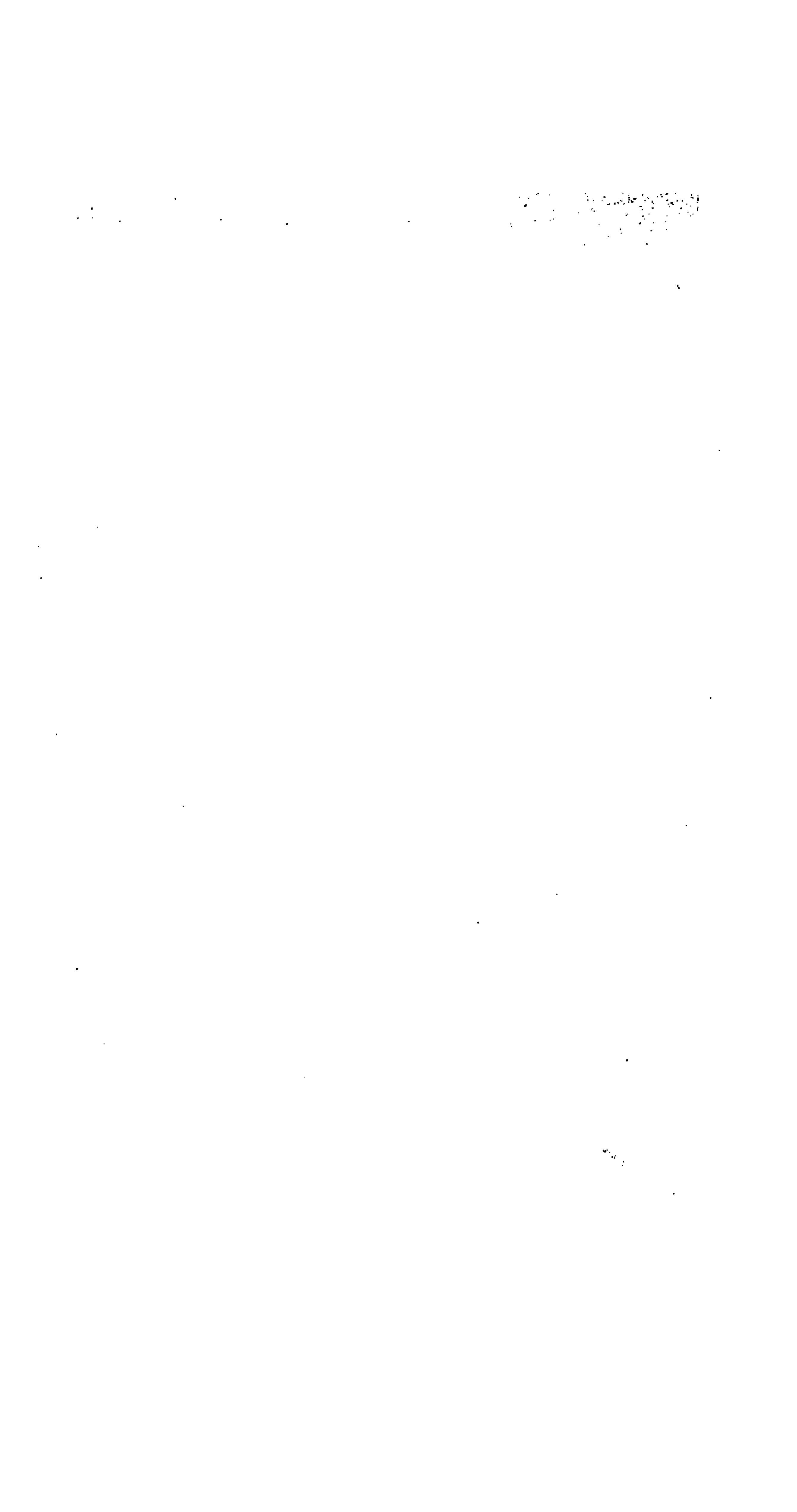
Elektrische Vertheilung. 7 *Elektrische Bindung.* 8 *Goldblatt-Elektrometer.* 9 *Elektrophor.* 10 *Scheiben-Elektrisir-*
dungsflasche mit Quadranten-Elektrometer. 15 *Elektrischer Korkkugeltanz.* 16 *Elektrische Abstossung.* 17 *Elektrische*
20-22 *Dampf-Elektrisirmaschine.* 23 *Anhäufung der elektrischen Ladung auf hervorragenden Partien der Leiter.*
35 *Elektrische Auslader.* 36 u. 37 *Elektrischer Condensator.* 38 *Abnahme der elektrischen Anziehung bei wachsender*
htenberg'sche Staubfiguren. 45 u. 46 *Volta'sche Elemente.* 47 u. 48 Volta'sche Säule. 49 Ein Wollaston'sches Elemen
Verschiedene Combinationen galvanischer Becher.



1 Galvani's Froschschenkel-Versuch. 2 Trockene Säule. 3 Elektrisches Perpetuum-mobile. 4 u. 5 Säulenelektrosk
10 Galvanisches Glühen. 11 u. 12 Galvanischer Flammenbogen. 13 u. 14 Galvanische Wasserzersetzung. 15 Voltamet
plicator. 21 Magnetisirungsspirale. 22 Gesetz der magnetischen Polarität. 23 u. 24 Elektromagnete. 25-27 Elektris
Theorie des Magnetismus. 34 Elektrodynamische Anziehung. 35 u. 36 Thermoelektrische Elemente. 37 u. 38 Thermo
Dämpfung. 43 Erdin



lvanisches Element. Bechersäule. [8] Bunsen'sche Säule. [9] Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom.
trolyse von Salzlösungen. [17] Galvanoplastik. [18] Oersted's Fundamentalversuch. [19] Tangentenbussole. [20] Multi-
ph. [28] u. [29] Elektromagnetischer Motor. [30] Elektrodynamischer Grundversuch. [31] Solenoid. [32] u. [33] Ampère's
Säulen. [39] Magnet-Elektrisirmaschine. [40] Inductionsapparat. [41] Ruhmkorff's Funkeninductor. [42] Elektrische
u. [45] Diamagnetismus.



Atlas
der
Erdkunde.

(Geologie und Meteorologie.)

Von

Dr. Bernhard von Cotta und **Dr. Johann Müller**

Professor der Geognosie an der Bergakademie zu Freiberg und königlich sächsischer Bergrath.

Professor der Physik an der Universität zu Freiburg im Breisgau und großherzoglich badischer Hofrath.

---

16 Tafeln in Holzschnitt und Lithographie nebst erläuterndem Texte.

Separat-Ausgabe aus der zweiten Auflage des Bilder-Atlas.



Leipzig:
F. A. Brockhaus.

1874.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	3
Geologie. Bearbeitet von Prof. Dr. B. von Cotta.	
Textur, Absonderung, Schichtung und Lagerung der Gesteine. (Tafel 1.)	
Textur	3
Absonderung und Schichtung	4
Lagerung	6
Kohlen und Steinsalz (Tafel 2)	7
Erzlagerstätten (Tafel 3)	9
Organismen der geologischen Perioden. (Tafel 4 bis 7.)	
Triasperiode	12
Jura- und Kreideperiode	12
Tertiärperiode	13
Grauwackenperiode	14
Vulkane (Tafel 8)	15
Höhlen und Quellen. (Tafel 9.)	
Höhlen	16
Quellen	17
Erdoberflächengestaltung. (Tafel 10.)	
Berg- und Felsformen	17
Innerer Bau der festen Erdkruste und der Gebirge (Tafel 11)	18
Geologische Karte von Deutschland (Tafel 12)	21
Meteorologie. Bearbeitet von Professor Dr. J. Müller. (Tafel 13 bis 16.)	
Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.	
Temperatur der untern Luftschichten	22
Temperatur der höhern Luftschichten	23
Temperatur des Bodens und der Quellen	25
Temperatur der Meere	25
Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.	
Größe und Variationen des Luftdrucks	26
Winde und Stürme	27
Hydrometeore	29
Die atmosphärischen Lichterscheinungen	31
Die elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre	33

Einleitung.

Die Erdkunde im weitesten Sinne des Wortes umfaßt die Gesammtheit aller wissenschaftlichen Disciplinen, deren Aufgabe es ist, die Kenntniß unsers Erdkörpers nach verschiedenen Richtungen hin zu erweitern. In diesem Sinne ist aber das Gebiet der Erdkunde ein so ausgedehntes, daß es nothwendig in mehrere selbständige Gebiete abgetheilt werden muß, und es wurden ihm deshalb auch im „Bilder-Atlas" drei verschiedene Abtheilungen zugewiesen: die Geographie, die Astronomie und die vorliegende Abtheilung Erdkunde, welche die Geologie und Meteorologie umfaßt.

Die Geographie oder Erdbeschreibung hat die Vertheilung des Festen und Flüssigen, die Gestaltung der Festländer, den Zug der Gebirge und den Lauf der Flüsse, und namentlich auch die Erdoberfläche als Wohnsitz des Menschengeschlechts zu betrachten.

Die Astronomie beschäftigt sich mit der Stellung der Erdkugel in unserm Planetensystem, besonders mit den Beziehungen der Erde zur Sonne und den mit ihrer jährlichen Wanderung um die letztere zusammenhängenden Veränderungen der Insolation verschiedener Erdgürtel.

Dem auf der Erdoberfläche sich entwickelnden Thier- und Pflanzenleben und der systematischen Beschreibung der Mineralien sind die besondern Disciplinen der Zoologie, der Botanik und der Mineralogie gewidmet.

Die Geologie untersucht den Bau der festen Erdrinde sowie die Natur der Gesteins- und Felsmassen, aus denen dieselbe zusammengesetzt ist, um an der Hand der so ermittelten Thatsachen über die Entstehungsgeschichte der Erde Licht zu verbreiten.

Die Meteorologie endlich ist derjenige Theil der Erdkunde, welcher sich mit den Erscheinungen in der Atmosphäre, vorzugsweise auch mit den sogenannten Meteoren beschäftigt. Ihr fällt also die Aufgabe zu, das Walten der Naturkräfte, welche uns die Physik im Laboratorium kennen lehrt, im Großen, in der Gestaltung der Witterungsverhältnisse nachzuweisen.

Geologie.

Bearbeitet von Professor Dr. B. von Cotta.

Textur, Absonderung, Schichtung und Lagerung der Gesteine.

(Tafel 1.)

Textur.

Unter der Textur der Gesteine verstehen wir die Art und Weise, in welcher die einzelnen Minerattheile, aus denen sie bestehen, gestaltet und untereinander verbunden sind. Am auffallendsten treten dabei die Unterschiede der Größe der einzelnen Gemengtheile hervor; hiernach unterscheidet man deutlich und undeutlich zusammengesetzte, oder gemengte Gesteine, je nachdem man ihre einzelnen Bestandtheile mit unbewaffnetem Auge unterscheiden kann oder nicht. Im letztern Falle nennt man die Gesteine auch wol dicht, im erstern körnig. Schließt dagegen eine dichte Hauptmasse einzelne krystallinische Gemengtheile oder Krystalle ein, so nennt man diese Textur porphyrartig. Ein anderer Hauptunterschied der Textur ist dadurch bedingt, daß die Gemengtheile entweder krystallinisch miteinander verwachsen sind, wie bei dem deutlich gemengten Granit, oder durch irgendein Bindemittel (etwa Thon) zusammengehalten werden, wie in den Sandsteinen und Conglomeraten. Bei deutlich gemengten Gesteinen kann man diesen Unterschied mit unbewaffnetem Auge erkennen, bei undeutlich gemengten oder dichten aber nur unter dem Mikroskop an ganz feinen Splittern oder Dünnschliffen.

Das sind die Hauptunterschiede der Textur, die sich nicht füglich durch Abbildungen darstellen lassen. Daran reihen sich aber einige Erscheinungen, die zwar nicht alle der Textur im engern Wortsinne entsprechen, aber doch dazu gerechnet zu werden pflegen. Diese lassen sich zum Theil durch Abbildungen versinnlichen, so z. B.:

1) Die oolithische Textur, welche am deutlichsten an dem sogenannten Erbsenstein von Karlsbad erkennbar ist. Derselbe besteht aus lauter kugelförmigen Körnern, gewöhnlich ungefähr von der Größe einer Erbse, welche durch kohlensauren Kalk zusammengehalten werden, während sie selbst aus radial-faserigem Kalkspat oder Aragonit bestehen, der in concentrischen Lagen einen fremdartigen Kern, z. B. ein Sandkorn, umgibt, wie das der Querschnitt einer solchen Erbse auf Taf. 1, Fig. 2 zeigt, während Fig. 1 ein ganzes Stück solchen Erbsensteins darstellt. Die Entstehung dieser sonderbaren Textur ist bei Karlsbad leicht nachweisbar. Die sehr kalkhaltigen Quellen spülen kleine Körner von dem Granit ab, aus dem sie entspringen, bewegen diese durch ihre Strömung und lagern dabei dünne concentrische Schichten um jedes Sandkorn ab, bis die so gebildete Erbse zu schwer ist, um noch vom Wasser bewegt werden zu können, worauf sie auf dem Boden liegen bleibt und mit andern Erbsen durch Kalkablagerung zusammengekittet wird. Auf eine etwas andere Weise muß allerdings der in sehr ausgedehnten Schichten oder Ablagerungen auftretende, in seiner Textur dem Erbsenstein analoge, sogenannte Rogenstein gebildet worden sein.

2) Die schieferige Textur, welche darin besteht, daß ein Gestein nach einer Ebene am leichtesten spaltet oder sogar nach dieser Richtung deutlich zerklüftet ist, tritt am deutlichsten beim Thonschiefer, Dachschiefer und Tafelschiefer auf, etwas weniger vollkommen aber auch beim Glimmerschiefer, Gneis, Chloritschiefer, an manchen Kalksteinen, Sandsteinen, Kohlen u. s. w. Sie ist entweder veranlaßt durch die parallele Lage dünner Mineralblättchen, z. B. Glimmerblättchen, welche sogleich bei der Entstehung des Gesteins eine höchst dünne und zarte Schichtung veranlaßt haben, oder durch die Einwirkung eines spätern einseitigen Drucks, wodurch man auch künstlich schieferige Textur

in manchen vorher nicht schieferigen Massen hervorbringen kann. In diesem letztern Falle ist die Schiefertextur sehr oft nicht der Schichtung parallel, während sie im erstern stets dieser parallel läuft. Ein später zu besprechendes Beispiel der Art ist Fig. 16 abgebildet.

3) Die blasige Textur vieler, besonders eruptiver oder vulkanischer Gesteine, ist dadurch entstanden, daß irgendwelche Gasarten, am häufigsten wol Wasserdämpfe, sich während des Festwerdens im Innern des Gesteins entwickelten und, da sie nicht mehr entweichen konnten, ihre Blasenform behielten. Es ist derselbe Vorgang, wie er beim Brotbacken stattfindet. Die Blasenräume der Gesteine zeigen theils regelmäßige, theils unregelmäßige, stets aber abgerundete — nie eckige — Formen. Die Verschiedenartigkeit dieser Formen läßt sich leicht durch ein Experiment erklären. Wenn man ein Glas (Fig. 3) mit einem zähen aber durchsichtigen Sirup füllt und durch ein Haarröhrchen schwach hineinbläst, so entwickelt sich an der Spitze des Röhrchens eine birn- oder ballonförmige Blase, welche so lange mit ihrem untern dünnen Ende am Röhrchen haften bleibt, bis sie eine gewisse Größe erreicht, sich ablöst und aufsteigt. Während des Aufsteigens zieht die Blase ihre untere Verlängerung sogleich ein, und bildet eine Kugel. Wird aber nun die Flüssigkeit nach einer Richtung bewegt, wie etwa in einem fließenden Lavastrom, so strecken sich die ursprünglich kugelförmigen Blasen alle nach der Bewegungsrichtung in die Länge, wie in Fig. 4. Bei unregelmäßiger Bewegung entstehen dagegen auch unregelmäßige Blasenräume, wie Fig. 5.

4) Mandelsteinartig nennt man die Textur der Gesteine, wenn ursprünglich vorhanden gewesene Blasenräume durch neue Mineralbildungen, am häufigsten Kalkspat, Kieselsubstanz oder Zeolith, ausgefüllt sind. Natürlich müssen auch diese Ausfüllungen oder Mandeln die regelmäßige und unregelmäßige Gestalt der Blasenräume annehmen. Die Art der Ausfüllung zeigt aber dabei noch eine sehr große Mannichfaltigkeit der Erscheinungen. Es ist nämlich diese Ausfüllung zuweilen durch Herabtropfen einer Solution von der Decke des Hohlraums stalaktitisch erfolgt, wie Fig. 8, oder dadurch, daß die Flüssigkeit an den Wänden hinabglitt und diese mit concentrischen Lagen bedeckte, wie Fig. 6, oder endlich in der Weise, daß die Flüssigkeit am Boden horizontale Schichten ablagerte, die dann auch mit concentrischer Bildung zusammen auftreten können, wie Fig. 7.

Absonderung und Schichtung.

Jeder Fels, mag er auch noch so schroff und kühn, oder massig und compact erscheinen, ist dennoch von unzähligen Spalten oder Klüften durchzogen, in welchen der unmittelbare Zusammenhang der Gesteinsmasse unterbrochen ist. Die Klüfte können durch später eingedrungene Substanzen wieder verkittet sein, sodaß die ursprünglich durch Klüfte getrennten Theile nicht ohne weiteres auseinanderfallen, aber der Zusammenhalt durch solche Kittsubstanzen ist doch gewöhnlich nicht so fest, daß man sich bei der Benutzung für Bauten oder größere Kunstwerke sicher darauf verlassen könnte. Daher kommt es, daß man verhältnißmäßig nur selten Felsmassen findet, aus denen sich sehr große Säulen, Platten, Gefäße oder dergleichen aus einem Stück, als sogenannte Monolithen, herstellen lassen. Einer der längsten dieser Monolithen dürfte die Alexandersäule in Petersburg sein, welche sich, aus einem Granitstück bestehend, 84 Fuß über ihren Sockel erhebt.

Diese Klüfte, welche jede Felsmasse durchziehen und in mehr oder weniger kleine oder große Stücke zerlegen, nennt man theils Absonderungs-, theils Schichtungsklüfte, je nachdem sie erst nach der Bildung des Gesteins oder während derselben durch Uebereinanderlagerung einzelner Schichten entstanden sind.

Absonderung ist die allgemeinste dieser Erscheinungen; sie hat ausnahmslos alle Gesteine betroffen, mögen sie nun wie immer entstanden sein. Schichtung findet sich dagegen vorzugsweise nur bei den Gesteinen, welche durch Wasser abgelagert wurden, die dann aber stets auch noch das Phänomen der Absonderung nebenbei zeigen.

Betrachten wir deshalb zunächst die Verhältnisse der Absonderung etwas näher. Man pflegt allgemein zu unterscheiden unregelmäßige und regelmäßige Absonderung. Die unregelmäßige Absonderung besteht aus einer Zerklüftung nach unbestimmten Richtungen, sodaß dadurch die einzelnen, durch Klüfte getrennten Theile unregelmäßige Formen zeigen. Dabei kann die Zerklüftung eine starke oder schwache sein, d. h. die einzelnen dadurch isolirten Theile sind klein oder groß. Im erstern Falle nennt man ein solches Gestein stark zerklüftet, wie das sehr häufig besonders bei Porphyr, Grünstein, Hornstein u. s. w. vorkommt. Die größten Durchmesser der einzelnen Stücke betragen nur einige Zoll bis etwas über 1 Fuß; sind sie beträchtlich größer, ohne daß sich eine bestimmte Grenze feststellen läßt, so nennt man die Absonderung eine massige oder großmassige, wie sie sehr häufig z. B. beim Granit, Syenit, Trachyt, auch bei manchen Kalksteinen, Sandsteinen u. s. w. gefunden wird.

Es versteht sich wol von selbst, daß massig oder großmassig abgesonderte Gesteine sich weit mehr zu Bausteinen oder Kunstwerken eignen, als stark zerklüftete, die man höchstens zu Straßenschotter verwenden kann, wenn sich ihre übrige Beschaffenheit dazu eignet.

Weit auffallender und interessanter als die unregelmäßige Absonderung ist die regelmäßige, durch Klüfte, welche local nach bestimmten Richtungen orientirt sind und sich überdies noch unter gleichen oder ähnlichen Winkeln schneiden. Dadurch entsteht dann: plattenförmige, schalige, parallelopipedische, kubische, rhomboëdrische, säulen- oder pfeilerförmige Absonderung, d. h. die einzelnen durch Klüfte getrennten, in sich aber compacten Gesteinstheile gleichen mehr oder weniger diesen regelmäßigen Körpern. Man unterscheidet oft auch noch kugelförmige, concentrisch-schalige und cylindrische Absonderung; wir werden aber später sehen, daß diese krummflächigen Formen in der Regel nicht durch ursprüngliche Absonderung, sondern erst durch nachfolgende Verwitterung entstanden sind.

Wir werden zunächst versuchen, einzelne dieser regelmäßigen Absonderungsformen specieller zu schildern und durch Beispiele zu erläutern.

Plattenförmig ist sehr häufig der Granit abgesondert, so z. B. Taf. 1, Fig. 9, zuweilen auch Porphyr und Basalt. Diese Platten sehen oft ganz aus wie übereinanderliegende Schichten, bestehen aber, wenn sie nicht von Schichtung herrühren, alle ganz aus demselben Material und sind auch nicht durch fremdartige Zwischenlagen voneinander getrennt, wie das bei wirklicher Schichtung sehr oft der Fall ist. Es kommt sogar vor, daß einzelne mineralische Gemengtheile, z. B. große Feldspatkrystalle, aus einer Platte in die andere hineinreichen und nur durch eine Absonderungskluft getheilt sind, woraus sich dann ganz sicher ergibt, daß diese Kluft erst nach der Bildung des Gesteins entstanden sein kann.

Die Granitplatten haben gewöhnlich eine Dicke von 1—5 Fuß, und wenn sie in ungleichen Abständen von andern, ziemlich rechtwinkeligen Klüften durchschnitten sind, so zerfallen sie in große Parallelopipede oder Quadern. Bei Granitfelsen, welche über die Oberfläche hervorragen, sind dann die Ecken und Kanten dieser Parallelopipede oft sehr stark durch Verwitterung abgerundet, und so entsteht das, was man polsterförmige Absonderung zu nennen pflegt. Ganze Felsen scheinen zuweilen mauerartig aus lauter solchen übereinandergelegten Platten, Polstern oder Wollsäcken zu bestehen. Sind die Querklüfte der Platten nicht weiter voneinander entfernt als die Plattendicke, so nehmen die getrennten Theile eine kubische Gestalt an, und durch starke Verwitterung der Ecken und Kanten bleiben zuweilen fast kugelförmige Kerngestalten übrig. Die Platten liegen beim Granit sehr oft ziemlich horizontal, finden sich aber auch unter verschiedenen Neigungswinkeln bis zur senkrechten Stellung. Bei den Porphyren sind die Platten meist dünner, und noch dünner beim Phonolith und Basalt, wo man sie dann manchmal Tafeln oder, wenn etwas gekrümmt, Schalen genannt hat. Bei Tichlowitz oberhalb Tetschen an der Elbe findet sich ein Basalt so dünn plattenförmig abgesondert, daß die Bewohner der Umgegend diese Platten wie Blechtafeln zum Backen von Kuchen verwenden.

Werden die Platten nicht rechtwinkelig, sondern schräg, aber von untereinander ziemlich parallelen Klüften in zwei Richtungen durchschnitten, so entstehen dadurch rhomboëdrische Absonderungen, wie sie zuweilen bei dem Gneis genannten Gestein vorkommen, bei welchem dann aber die eine der Kluftrichtungen eigentlich der Schichtung entspricht.

Säulenförmig ist besonders häufig und schön der Basalt abgesondert, wie z. B. der der Fingalshöhle auf der Insel Staffa (Fig. 10), doch kommt ganz dieselbe Bildung oft auch bei Porphyren, Grünsteinen und Phonolithen vor. Wo diese Absonderungsform besonders regelmäßig auftritt, da haben die Säulen alle ungefähr die gleiche Dicke und auch eine fast constante Flächenzahl. Die Dicke schwankt aber überhaupt zwischen den ziemlich weiten Grenzen von etwa 1 Zoll bis 5 Fuß. Die ganz dünnen Säulen nennt man auch wol Stengel oder Stifte, die sehr dicken, weit weniger regelmäßigen, Pfeiler. Die Zahl der Flächen, welche die Säule begrenzen schwankt erfahrungsmäßig zwischen drei und neun. Unter drei Flächen (ohne die beiden Endflächen) kann natürlich keine Säule haben; bei weitem die meisten an Gesteinen vorkommenden sind fünf- oder sechsseitig, eine größere Zahl gehört schon zu den Seltenheiten. Wenn aber auch local die Zahl der Flächen oft gleich zu sein pflegt, so sind dennoch die Winkel, unter denen sich dieselben schneiden, nicht gleich, wodurch sich alle Absonderungssäulen sehr wesentlich von den durch Krystallisation entstandenen unterscheiden, bei denen die entsprechenden Winkel stets ganz gleich sind. Auch die Länge der einzelnen Säulen ist sehr verschieden; aus einem Stück bestehend erreichen sie sehr selten mehr als 20 Fuß Länge, aber dergleichen Stücke (Säulenglieder) stehen zuweilen an demselben Basaltfelsen viele als Fortsetzungen übereinander, sodaß, wenn man sie alle zu einer Säule rechnet, diese zuweilen eine Länge von mehr als 200 Fuß erreicht, wie z. B. bei Unkel am Rhein und an der Detonata bei Vöröspatak in Siebenbürgen. Die Gliederung dieser scheinbar sehr langen Säulen ist in der Regel durch rechtwinkelig hindurchgehende Absonderungsklüfte bewirkt; folgen diese sehr nahe aufeinander, so entstehen dadurch tafelförmig zerspaltene Säulen, z. B. beim Phonolith, wo diese Querklüfte die Säulenachse auch wol schräg schneiden. Bei manchen Porphyren zeigen sich sogar die Säulen aus mannichfach gebogenen Platten zusammengesetzt, wodurch sie dann an der Oberfläche ein damascirtes Ansehen erhalten, wie Fig. 11. Folgen die Querklüfte in Abständen aufeinander, welche ungefähr der Säulendicke entsprechen, so entstehen natürlich sehr kurze Säulenstücke, welche dann zuweilen durch Verwitterung der Ecken und Kanten in säulenförmig übereinandergehäufte Kugeln umgewandelt werden, wie an dem schönen basaltischen Lavafelsen der sogenannten Käsegrotte bei Bertrich in der Eifel (Fig. 13). Der Beginn dieser Veränderung zeigt sich zuweilen erst beim Zerschlagen der Säulen, wodurch diese nach dem Abbröckeln der Ecken in ziemlich concentrisch-schalige Kugeln mit noch ganz frischem Kern zerfallen.

Manchmal äußert sich diese Erscheinung auch wol in sehr eigenthümlicher Weise, indem die Kugeln in den Säulen gleichsam als festere Concretionen vorgebildet erscheinen und an den Abgliederungen als Kugelsegmente ineinander eingreifen wie Gelenkknochen (Fig. 12), wobei dann auch wol die durch die Säulenkanten gebildeten Ecken wie die Zacken einer Krone hervorragen.

Nachdem wir jetzt die einzelnen Absonderungsformen kennen gelernt haben, möge es gestattet sein, noch einige Bemerkungen über deren Ursache und die Ursache der Absonderung überhaupt daran anzureihen.

Alle Absonderung ist eine nothwendige Folge der Massenzusammenziehung nach ihrer Erstarrung, sei es nun durch Austrocknung oder durch Abkühlung. Wenn der Bodenschlamm eines entleerten Teichs austrocknet, so bilden sich darin mehr oder weniger weite Risse, die zuweilen sogar ziemlich regelmäßig gruppirt sind und eine Art säulenförmiger Absonderung veranlassen, und wenn der Schlackenausfluß eines Hohofens, oder ein Lavastrom, nachdem er erstarrt ist, weiter abkühlt, so zerspringt er durch wenn auch nur schmale Klüfte in einzelne Theile; das sind dieselben Vorgänge, welche auch die Absonderung der aus Wasser abgelagerten oder aus einem heißflüssigen Zustande hervorgegangenen Gesteine bewirkt. Sowol durch Verflüchtigung des Wassers (Austrocknung) als durch Ausstrahlung der Wärme (Abkühlung) wird das Volumen der Körper vermindert; wenn aber diese Körper so groß sind oder die Volumenverminderung so schnell erfolgt, daß die Theile sich nicht füglich gegen das gemeinschaftliche Centrum zusammenziehen können, so erfolgt Zerspaltung und Contraction der dadurch isolirten einzelnen Theile. Daher kommt es, daß ein Töpfer z. B. nie ein Gefäß von 100 Fuß Durchmesser würde herstellen können, ohne daß es zerspringt, und daß man auch niemals einen erkalteten Lavastrom finden wird, in welchem einzelne unzerspaltene Stücke einen Durchmesser von mehr als 100 Fuß haben. Je schneller die Austrocknung oder Abkühlung erfolgt, um so kleiner werden bei gleicher Masse die Theile sein, in welche sie zerspringt, weil die Partikelchen um so weniger Zeit haben, sich zu größern Massen zu concentriren, je schneller ihre Zusammenziehung stattfindet.

Dadurch erklärt es sich denn auch sehr leicht, weshalb die offenbar weniger schnell abgekühlten, sehr krystallinischen, plutonisch entstandenen Eruptivgesteine, wie Granit und Syenit, stets weniger stark zerklüftet sind als die schneller erkalteten, dichten und vulkanisch entstandenen, wie Basalt, während gewisse feinkörnige oder porphyrartige Eruptivgesteine mit dichter Grundmasse, wie Porphyre und Grünsteine, in dieser Beziehung ein mittleres Verhalten zeigen. Nicht so sicher

läßt sich diese Ursache der ungleichen Größe für die aus Wasser abgelagerten, durch Austrocknung abgesonderten Gesteine nachweisen.

Wenn man aber auch den Grund der Absonderung überhaupt und hinreichend erklären kann, so ist doch die Ursache der besondern regelmäßigen Absonderungsformen noch vollständig unbekannt. Wir wissen nur durch Erfahrung, daß Platten und Säulen stets eine bestimmte normale Stellung zu den wirksamsten Austrocknungs- oder Erstarrungsoberflächen einnehmen, und zwar liegen die Platten stets parallel diesen Flächen, während die Säulen rechtwinkelig daraufstehen, sodaß z. B. ein säulen- oder plattenförmig abgesonderter senkrechter Basaltgang im Querschnitt stets horizontal liegende Säulen oder senkrecht stehende Platten zeigt, während in ziemlich horizontal übergeflossenen Lavaströmen die Säulen senkrecht stehen. Durch Bewegungen während der Erstarrung und Abkühlung, oder durch nachher eingetretene Störungen sind diese normalen Stellungen freilich oft unregelmäßig geworden, lassen sich aber in einzelnen Fällen dennoch sehr gut auf die ursprüngliche Regel zurückführen, wie z. B. bei dem prachtvoll säulenförmig abgesonderten Basaltfelsen Weregotsch am linken Elbufer oberhalb Aussig (Fig. 14.) Hier stehen die Säulen fächerförmig gegen oben gebogen. Dieser Basaltfels füllt eine mächtige Spalte im Sandstein aus; offenbar bildeten sich die Säulen auch hier zunächst rechtwinkelig auf die Spaltenwände, in der Mitte der Spalte erfolgte aber die Abkühlung etwas langsamer als an den Seitenwänden, deshalb blieb die Basaltmasse hier etwas länger weich, in gewissem Grade plastisch, und wurde, als sich die Säulen schon gebildet hatten, noch etwas nach oben gedrängt, sodaß dadurch die Säulen eine so auffällige Stellung annahmen.

Schichtung nennt man die plattenförmige Uebereinanderlagerung der Gesteine, welche in ihrer Entstehung nacheinander begründet ist. Jede Schicht ist das Resultat eines bestimmten Zeitabschnitts. Schichtung ist deshalb vorzugsweise den aus Wasser abgelagerten Gesteinen eigenthümlich, sie kann aber auch bei ihnen nur dann deutlich hervortreten, wenn während ihrer Ablagerung gewisse, wenn auch nur kleine Unterbrechungen oder Aenderungen des Ablagerungsmaterials eingetreten sind. Diese können z. B. veranlaßt sein durch den Wechsel von Ebbe und Flut, durch hohen oder niedern Stand der Flüsse, welche Material zuführen, ja sogar durch den Wechsel der Temperatur u. s. w. Etwas der Schichtung ganz Analoges kann aber auch bei vulkanischen Gesteinen vorkommen, wenn z. B. mehrere Lavaströme übereinander hinweggeflossen sind, oder wenn in den Zwischenräumen der Lavaüberströmung vulkanische Auswurfsproducte von etwas ungleicher Beschaffenheit, oder mit Unterbrechungen, die Oberfläche bedeckt haben.

Manchmal ist es schwer, Schichtung von plattenförmiger Absonderung bestimmt zu unterscheiden; es wird aber dann allemal sehr leicht, wenn die einzelnen Schichten aus etwas ungleichem Material bestehen, wenn sie abgerundete Geschiebe oder Versteinerungen enthalten, die untereinander und der Schichtung parallel gelagert sind.

Fig. 15 stellt einen in dieser Beziehung sehr interessanten Fall aus der Steinkohlenformation von St.-Etienne dar. Hier besteht die unterste schwarze Schicht d aus Steinkohle, darüber folgt c Schieferthon, aus mehrern dünnen Schichten zusammengesetzt, dann b zwei Schichten Eisenstein, und zu oberst endlich a eine ganze Reihe von Sandsteinschichten, die durch dünne Schieferthonlagen voneinander getrennt sind. Diese Sandsteinschichten umschließen die Ueberreste in aufrechter Stellung umhüllter Baumstämme, auf die wir bei einer spätern Gelegenheit zurückkommen werden.

Ursprünglich sind natürlich alle Schichten ziemlich horizontal abgelagert worden, nur an den Rändern der Ablagerungsbecken mögen sie zuweilen schon ursprünglich unter Neigungswinkeln bis 30 Grad abgelagert worden sein, wo man aber stärkere Neigungen, oder starke Faltungen und Zerknickungen derselben vorfindet, da hat man stets eine spätere Störung der ursprünglichen Lagerung vorauszusetzen, und das wird auch da der Fall sein, wo über sehr große Flächenräume hinweg alle Schichten eine gemeinsame Neigung, wenn auch nur bis zu 20 Grad zeigen.

Dergleichen Störungen der ursprünglichen Lagerungsverhältnisse können sowol durch locale Hebungen oder Senkungen der Erdkruste, durch emporsteigende Eruptivgesteine oder durch den Einsturz großer unterirdischer Hohlräume veranlaßt worden sein. Sie zeigen sich, wie schon erwähnt, in verschiedener Weise: 1) als Aufrichtung der Schichten, wie Fig. 22; 2) als mehr oder weniger starke Biegung oder Faltung, wie Fig. 17; 3) als Verwerfungen, wie Fig. 18 und 19. Fig. 18 stellt eine solche Verwerfung dar, welche durch Aufberstung des Bodens und einseitige Hebung oder Senkung während eines Erdbebens veranlaßt wurde. Fig. 19 dagegen ein vielfach zerspaltenes und dabei verworfenes Steinkohlenlager, wie dergleichen oft sehr unbequem für den Bergbau werden.

Die Schieferung der Gesteine ist, wie wir oben gesehen haben, zuweilen nichts anderes als das Resultat einer sehr dünnen Uebereinanderschichtung des Materials; in diesem Falle muß sie aber stets der Schichtung im großen oder der Wechsellagerung der Gesteine parallel laufen. Das ist jedoch oft nicht der Fall, und sie geht sogar manchmal unter sich parallel durch alle Biegungen der Schichten hindurch, wie Fig. 16.

Lagerung.

Darunter versteht man das gegenseitige räumliche Verhalten der Gesteine, welches sich gewöhnlich am leichtesten erkennen läßt, wenn sie geschichtet sind.

Von den einfachsten Fällen ausgehend, haben wir zunächst Ueberlagerung oder Auflagerung zu unterscheiden. Diese ist eine **gleichförmige**, wenn zwei geschichtete Gesteine so übereinanderliegen, daß ihre Schichten parallel sind, wie Taf. 1, Fig. 15, wobei der Neigungswinkel der Schichten zunächst nicht in Betracht kommt. Wiederholen sich dabei dieselben Schichten mehrfach, so nennt man das Wechsellagerung. **Ungleichmäßig**, oder im einzelnen Falle **übergreifend**, nennt man dagegen die Lagerung, wenn ein Gestein die Schichten eines andern durchschneidet, oder die Grenzen eines oder mehrerer anderer Gesteine überdeckt, wie Fig. 20 und 21. Aus diesem Verhalten läßt sich zugleich schließen, daß die übergreifend bedeckten Gesteine alle um ein Bedeutendes älter sind als das Bedeckende, weil man voraussetzen muß, daß das bedeckende Gestein sonst sich gleichförmig aufgelagert haben würde. Die ungleichförmige Lagerung setzt eine in der Zwischenzeit eingetretene theilweise Zerstörung und Abspülung der ungleichen überlagerten Gesteine voraus.

Außer diesen verschiedenen Formen der Ueberlagerung kommen nun aber besonders bei eruptiven Gesteinen sehr oft auch Lagerungsverhältnisse vor, welche man **Durchsetzungen** zu nennen pflegt.

Wenn nämlich irgendwo in der aus Gesteinen be-

stehenden Erdkruste Spalten aufgerissen sind, und diese Spalten, sei es nun von unten herauf oder von oben hinab, ausgefüllt wurden, so nennt man diese Spaltenausfüllungen Gänge, und jeder solche Gang durchsetzt die Gesteine, zwischen denen er liegt — bildet eine Durchsetzung, wie das in den Abschnitten über Eruptivgesteine und Erzgänge durch Abbildungen erläutert werden wird. Es versteht sich von selbst, daß die durchsetzende Masse allemal jüngerer (neuerer) Entstehung sein muß als die durchsetzte. Ueberhaupt aber sind die gegenseitigen Lagerungsverhältnisse der Gesteine das erste und wesentlichste Hülfsmittel zur Bestimmung des relativen Alters derselben. Die organischen Reste (Versteinerungen), welche viele der aus Wasser abgelagerten (sedimentären) Gesteine enthalten, hat man erst nachträglich zur Altersbestimmung verwenden können, nachdem durch sehr zahlreiche Beobachtungen der Uebereinanderlagerung die Altersreihe der einzelnen versteinerten Thier- und Pflanzenformen festgestellt war.

Kohlen und Steinsalz.

(Tafel 2.)

Diese für uns Menschen so überaus wichtigen Bestandtheile der festen Erdkruste finden sich beide nur zwischen den sedimentären Ablagerungen, nicht in den eruptiven oder metamorphischen Gesteinen. Innerhalb der Reihe der sedimentären Ablagerungen sind sie local in bestimmte Formationen vertheilt; wenn man aber nicht blos eine einzelne Erdgegend, sondern die gesammte Erde berücksichtigt, so zeigt sich bald, daß nicht etwa blos in wenigen bestimmten geologischen Perioden, sondern in den verschiedensten geologischen Zeiträumen der Sedimentärperiode, unter den dazu geeigneten Umständen, bald hier bald da Kohlen oder Steinsalz abgelagert worden sind, nur niemals an demselben Orte beide zu gleicher Zeit, da die Ablagerungsbedingungen für sie sehr verschiedene sind.

Die **Kohlenlager** entstanden zu allen Zeiten aus localen Pflanzenanhäufungen, mögen diese nun in Sümpfen und Torflagern sich an derselben Stelle angehäuft haben, wo sie wuchsen, oder mögen sie erst von der Landoberfläche aus in Salz- oder Süßwasserbecken zusammengeschwemmt worden sein; ja sogar durch Anhäufung von Meerespflanzen können möglicherweise Kohlen entstanden sein, obwol man solche noch nicht sicher kennt. Die Kohlenlager wurden aber zu keiner Zeit ursprünglich als solche abgelagert, sondern stets als Pflanzentheile. Aus diesen entstanden erst durch allmähliche Umwandlung: **Torf, Braunkohle, Stein- oder Schwarzkohle, Anthracit**, und zuletzt, aber nur zwischen halb oder ganz krystallinischen Schiefern, der nicht mehr brennbare **Graphit**. Dieses ist deshalb auch die gewöhnliche Altersreihe der Kohlenvorkommnisse; d. h. Torf und Braunkohlen finden sich in der Regel in den jüngsten oder höchstens tertiären Ablagerungen, Steinkohlen und Anthracit dagegen in den ältern und ältesten. Doch ist diese Altersreihe nicht überall streng eingehalten, da der Umwandlungsproceß unter ungleichen Bedingungen schneller oder langsamer erfolgt ist.

Das **Steinsalz** ist dagegen, wie die für die Industrie so wichtigen Kalisalze, ein unmittelbares Ablagerungsproduct des Meeres, in welchem seit den ältesten geologischen Zeiten Auflösungen von Chlornatrium (Kochsalz) und verschiedenen andern Salzen vorhanden waren. Es findet sich deshalb in der Regel zusammen mit Gips oder Anhydrit und einigen Kalisalzen, deren Bestandtheile ebenfalls im Meerwasser aufgelöst sind und welche unter den nämlichen Bedingungen wie das Steinsalz auskrystallisirten.

Die wichtigste dieser Bedingungen scheint starke Verdunstung in mehr oder weniger abgeschlossenen Meeresbecken oder -Buchten gewesen zu sein; welche während der Verdunstung immer wieder neue Zuflüsse von Meerwasser erhielten, sodaß sie deshalb gleichsam wie große Eindampfungspfannen wirkten. Steinsalz und Gips sind deshalb sogleich als solche im krystallinischen Zustande abgelagert worden, während der Anhydrit wahrscheinlich erst durch Austreibung des Wassers, unter etwas erhöhter Temperatur aus Gips entstand. Später an die Erdoberfläche erhoben, ist aber auch der Anhydrit durch Aufnahme von Wasser zum Theil wieder in Gips umgewandelt. Die für chemische Fabriken so wichtigen Kalisalze sind in Wasser noch leichter löslich als das Kochsalz, darum findet man sie oft über demselben. Es krystallisiren nämlich die einzelnen Bestandtheile des Meerwassers bei dessen Eindampfung stets nach der Reihenfolge ihrer Löslichkeit aus, zuerst der unter allen am schwersten lösliche schwefelsaure Kalk (Gips), dann das Chlornatrium (Kochsalz), zuletzt die Kalisalze.

Taf. 2, Fig. 20 versucht bildlich die Stellung (das geologische Niveau) darzustellen, welches die in **Deutschland** bekannten **Kohlen- und Steinsalzablagerungen** in der Reihenfolge der sedimentären Formationen einnehmen. Daraus ergibt sich, daß innerhalb dieses beschränkten Erdraums beide nur in den Ablagerungen weniger Zeitperioden, oder mit andern Worten nur in bestimmten Formationen auftreten.

Nutzbare Kohlenlager kennt man in Deutschland unterhalb des noch fortwährend entstehenden Torfs nur in den Ablagerungen der Tertiär-, Kreide- und Steinkohlenperiode. Denn das dünne und unreine Lettenkohlenflötz zwischen Keuper und Muschelkalk kann nur ganz local und ausnahmsweise benutzt werden, in den Ablagerungen der genannten Perioden nehmen aber die Kohlenlager zum Theil ungleiche Niveaux ein. Die Tertiärbildungen z. B. enthalten in ihrer obern (pliocänen), mittlern (miocänen) und untern (eocänen) Abtheilung zuweilen Braunkohlenlager, und die der Kohlenperiode enthalten zwar die meisten Kohlen in der eigentlichen Steinkohlenformation, zuweilen aber auch solche im Niveau der Kulmformation, wie z. B. bei Hainichen in Sachsen. Gehen wir aber über die Grenzen Deutschlands hinaus, so finden wir abbauwürdige Kohlenflötze: in Ungarn und im Banat zwischen den Schichten der Juraperiode, in China zwischen den Ablagerungen der Triasperiode, und im europäischen Rußland zwischen und unter den Schichten des Kohlenkalksteins. Die Zeitlücken, welche da noch bleiben, sind offenbar nur zufällige und dürften durch neue Entdeckungen in andern Welttheilen bald ausgefüllt werden. Auffällig ist es allerdings, daß in ganz Westeuropa die Ablagerungen der Tertiär- und Kohlenperiode (die danach benannt ist) sich ganz vorzugsweise durch ihren Reichthum an Kohlenlagern auszeichnen, und daß selbst die nordamerikanischen und sibirischen Steinkohlen und Anthracite größtentheils demselben großen Ablagerungszeitraume angehören, wie unsere Steinkohlen. Dabei ist aber die Zahl und Mächtigkeit der Kohlenlager, sowie ihre Qualität, an den einzelnen Orten und in den einzelnen Flötzen sehr verschieden. In Deutschland kennt man die größte Zahl von übereinanderfolgenden Kohlenflötzen im Becken von Saarbrücken, nämlich 160; diese sind aber bei weitem nicht alle abbauwürdig. Die größte bekannte

Mächtigkeit erreicht ein oberschlesisches Steinkohlenflötz, aber erst einige Meilen jenseit der Grenze bei Dombrowa in Polen, nämlich 48 Fuß.

Steinsalz kennt man in Deutschland nur zwischen den Ablagerungen der Trias- und Dyasperiode. Wir brauchen aber gar nicht weit zu gehen, so finden wir die enorm mächtigen und ausgedehnten Steinsalzablagerungen Galiziens, der Marmaros und Siebenbürgens in tertiären Ablagerungen. In Algier, und wahrscheinlich auch bei Cordonna in Spanien, kommt Steinsalz zwischen den Schichten der Kreideperiode vor, im Gouvernement Perm (Rußland) in dem geologischen Niveau unsers Rothliegenden, und in Nordamerika zwischen silurischen Schichten. Auch da bleiben noch einige, aber nur wenige Zeitlücken, die durch neue Entdeckungen bald ausgefüllt werden dürften. Die Ablagerungen der Triasperiode sind in Deutschland sogar in mehrern verschiedenen Niveaux steinsalzhaltig. Nicht weit von Braunschweig erbohrte man eine schwache Ablagerung desselben im Keuper, die Salinen der Gegenden von Erfurt und Gotha und Kreuzburg bei Eisenach, sowie alle schwäbischen Salinen beziehen ihr Salz aus dem Muschelkalk; das über 1000 Fuß mächtige Steinsalzlager von Staßfurt liegt zwischen Buntsandstein und Zechstein, aber auch die oberste Abtheilung des Buntsandsteins scheint in ihrem Gips Steinsalz zu enthalten (vielleicht gehören hierher die Salinen der nördlichen Alpen). Auf Zechsteinsalz sind dagegen die Salinen von Salzungen, Köstritz, Kösen, Artern, Dürrenberg und Halle begründet.

Kohlen und Steinsalz sind so wichtige Materialien, daß sie überall mit großem Eifer gesucht werden. Für dergleichen Nachforschungen lassen sich nun zwar keinerlei bestimmte Recepte vorschreiben, vielmehr ist dabei eine reiche Erfahrung in diesem Fache das Wichtigste. Immerhin lassen sich aber doch einige kurze Andeutungen geben, die allerdings zum Theil nur den Zweck haben, veraltete Vorurtheile unschädlich zu machen.

Sucht man Kohlen in Deutschland, welches geologisch schon sehr gut bekannt ist, so wird man sie natürlich nur in den Formationen zu erwarten haben, die bei uns bereits als kohlenführend bekannt sind, und hierüber wird sich in den meisten Fällen schon durch gute geologische Karten urtheilen lassen. Sucht man aber Kohlen in irgendeinem entfernten und geologisch noch wenig oder gar nicht bekannten Lande, dann ist das Alter der Ablagerungen gar nicht mehr entscheidend, wohl aber deren petrographische Zusammensetzung. Kohlenlager kommen am häufigsten zwischen Wechsellagerungen von grauem Sandstein und Schieferthon, nur äußerst selten mit Kalkstein, Mergel oder gar mit Gips verbunden vor. Enthalten aber dergleichen Sandsteine oder Schieferthone erkennbare Abdrücke von Pflanzentheilen, so wird dadurch die Hoffnung, Kohlen zu finden, schon etwas größer als durch die bloße Anwesenheit jener Gesteine. Doch kommen zuweilen auch Schieferthone und Sandsteine mit Pflanzenresten vor, ohne brauchbare Kohlenlager zu enthalten.

Sehr oft wird die beckenförmige Gestaltung der Oberfläche oder der Schichtenstellung für ein besonders günstiges Merkmal in Beziehung auf die Anwesenheit von Kohlenlagern ausgegeben. Es ist richtig, daß das theilweise bei vielen Kohlenablagerungen zutrifft, aber keineswegs alle Kohlenformationen sind in deutlich erkennbare Becken eingelagert, und Schichten ohne jede Spur von Kohlen zeigen ebenfalls nicht selten sehr regelmäßige beckenförmige Lagerung. Weder die Anwesenheit, noch die Abwesenheit der beckenförmigen Lagerung ist daher entscheidend. Die Oberflächenform kann sich aber über einem wirklichen Kohlenbecken zu Berg- und Hügelgruppen erheben, wie das der Querschnitt des Kohlenbeckens von Potschappel bei Dresden, Taf. 2, Fig. 1, zeigt. Manchmal ist auch wol ein solches Becken nur zur Hälfte vorhanden und kohlenhaltig, also eigentlich gar nicht ein wirkliches Becken, wie die ideale Zeichnung Fig. 2 zeigt. Wirklich beckenförmig gelagert ist die Steinkohlenformation des Plauenschen Grundes bei Dresden allerdings; dieses Becken ist aber durch spätere Erhebung in zwei Abtheilungen getrennt, von denen Fig. 1 nur die nordöstliche im Querschnitt darstellt, und von denen jede jetzt ein Becken für sich bildet, beiderseits von Ablagerungen jüngerer Formation überdeckt, die vom Plauenschen Grunde quer durchschnitten sind. Hier ist also mindestens die gegenwärtige Doppelbeckenform keine ursprüngliche, sondern erst durch eine spätere Hebung in der Mitte veranlaßt, welche zugleich von sehr bedeutenden Verwerfungen begleitet war, die zum Theil in Fig. 1 rechts dargestellt sind.

Dergleichen Verwerfungen haben überhaupt zuweilen sehr unangenehme Unterbrechungen in dem Zusammenhang und Niveau der Kohlenlager hervorgebracht, wovon Fig. 19 auf Taf. 1 ein sehr schlagendes Beispiel zeigt.

In Deutschland liegt sehr gewöhnlich, wie Taf. 2, Fig. 1 und 2, unmittelbar über der Steinkohlenformation das sogenannte Rothliegende, dessen Anwesenheit daher hier oft, aber nicht immer, als ein günstiges Zeichen für darunter vorhandene Steinkohlen betrachtet werden kann — nicht immer, da auch in Deutschland die Kohlenformation zuweilen unter dem Rothliegenden fehlt, oder anderwärts vorhanden ist, ohne von letzterm überlagert zu sein, wie z. B. in Westfalen, wo die Steinkohlenformation, wo sie nicht frei hervortritt, unmittelbar von Ablagerungen der Kreideperiode, oder sogar von Diluvialschichten bedeckt ist.

Die eigentliche Steinkohlenformation, welche in Westeuropa und in Nordamerika bei weitem die ergiebigsten Kohlenlager in sich birgt, enthält in ihren Sandstein- und Schieferthonschichten, zuweilen auch in dazwischengelagertem sogenannten Thoneisensteinen oder Sphärosideriten oft sehr viele Pflanzenreste, die von Geschlechtern und Species herrühren, welche größtentheils von den jetzt lebend auf der Erde vorhandenen ganz außerordentlich verschieden sind. Aus den einzelnen Abdrücken von Blättern, Früchten und Stämmen dieser Pflanzen hat man versucht, den Gesammtbau derselben abzuleiten und dann aus den vorherrschenden Arten sogar ideale Wald- und Sumpflandschaften construirt, wovon Fig. 16 ein recht anschauliches Beispiel liefert. Aus dem sumpfigen Boden beider Ufer des langsam dahinschleichenden Bachs, sprossen hier vielerlei Farnkräuter und kleine Schachtelhalme hervor, und aus diesem niedern Gestrüpp erheben sich schlanke Baumstämme meist mit sehr zierlichen Rindenzeichnungen. In dieser ganzen Waldlandschaft erblicken wir aber nicht eine einzige blütentragende phanerogame Pflanze; baumförmige Kryptogamen herrschen durchaus vor; nur vereinzelt erblicken wir dazwischen die Palmenart Noggeratia. Selbst der üppigste Tropenwald der Gegenwart besteht nicht so vorherrschend aus Kryptogamen (blütenlosen Pflanzen); noch mehr verschieden sind aber die Einzelformen. Da erblicken wir in der Mitte des Bildes einen starken längsgestreiften, und von Zeit zu Zeit abgegliederten Baumstamm, das ist entweder eine Sigillaria oder vielleicht ein mächtiger Schachtelhalmbaum (Calamites). Zu beiden Seiten desselben herrschen Schuppenbäume (Lepidodendra, Lycopodiaceae)

vor, deren Rinde mit zierlichen rhombenförmigen Narben bedeckt ist. Wir wollen nun einige dieser Pflanzen etwas näher untersuchen, wobei uns die Fig. 4 bis 19 behülflich sein werden.

Fig. 13 stellt ein Stück Calamitenstamm dar, und zwar den Steinkern (Ausguß) seines Hohlraums; die schmalen Längsleisten greifen an den etwas eingeschnürten Abgliederungen zickzackförmig ineinander, ganz wie bei unsern jetzigen Schachtelhalmen (Equiseten), die aber nirgends mehr als große Bäume gefunden werden. Zu den Calamitenbäumen der Kohlenperiode gehörte wahrscheinlich ein Theil der über Fig. 13 und 14 abgebildeten Zweige mit wirtelständigen Blättchen, doch läßt sich das nur für Asterophillum, Fig. 5, bestimmt nachweisen. Die Fig. 4 abgebildete Pflanze hat man Annularia genannt, weil bei ihr sich die Blättchen an der Basis zu einem geschlossenen Ringe verbinden, Fig. 6 dagegen Sphenophyllum, weil die Blättchen eine keilförmige Gestalt zeigen. Alle drei kommen ungemein häufig mit Calamiten zusammen in der Steinkohlenformation vor.

Fig. 15 stellt ein Stück Rinde der sehr vielen Arten von Lepidodendron, welche in der Kohlenformation gefunden werden, in natürlicher Größe dar, während darüber, Fig. 14, sich ein verkleinerter Zweig (derselben Gattung angehörig) mit einem endständigen Fruchtkätzchen befindet. Einen ganz analogen Bau wie dieser Zweig zeigen die jetzt existirenden Lycopodien, welche aber selbst in tropischen Ländern nie baumförmig gefunden werden.

Fig. 7 bis 12 stellt eine Auswahl von Farrnwedeltheilen dar, die in der Steinkohlenformation ebenfalls sehr häufig sind. Die sehr zahlreichen Farrnspecies dieser geologischen Periode hat man in eine Anzahl von Familien eingetheilt, von denen die hier repräsentirten besonders häufig und durch viele Species vertreten sind. Fig. 7 und 8 zeigt den Blatttypus der Neuropteriden, Fig. 9 und 10 den der Pecopteriden und Fig. 11 und 12 den der Sphenopteriden. Ueberreste von baumförmigen Farrn werden dagegen in der Steinkohlenformation verhältnißmäßig selten gefunden, Fig. 3 zeigt aber den äußern Abdruck eines solchen Protopteris genannten Farrnstammes.

Die am meisten charakteristischen Pflanzen der Steinkohlenzeit sind unstreitig die Sigillarien und Stigmarien. Zuerst hielt man diese für voneinander verschiedene Pflanzen; später erkannte man aber, daß die Stigmarien nur die Wurzeln der Sigillarienbäume sind, wie das Fig. 19 zeigt, während Fig. 18 einen obern Stammtheil, und Fig. 17 ein Wurzelstück mit ansitzenden Fasern für sich darstellt. Auch hiervon kennt man sehr viele Species und hat aus einigen derselben auch noch besondere Geschlechter gebildet, so z. B. aus Fig. 18 das Genus Favularia. Eine nahe Verwandtschaft dieser offenbar in Sumpfboden gewachsenen Kohlenpflanzen zu lebenden Familien ist noch nicht sicher erkannt.

Es ist zuweilen die Ansicht ausgesprochen worden, während der Steinkohlenperiode müsse eine sehr üppige Riesenvegetation auf der Erde bestanden haben. Das ist aber nach den Ergebnissen genauer Untersuchung und Vergleichung durchaus unrichtig. Allerdings kennen wir gegenwärtig auf der Erde keine baumförmigen Schachtelhalme und Lycopodiaceen mehr; diese kryptogamischen Pflanzen wurden also damals zum Theil größer als jetzt, aber dafür fehlten den Wäldern der Kohlenperiode unsere riesenhaften Tannen, Eichen, Ahorne u. s. w. gänzlich, ja man hat überhaupt niemals in der Steinkohlenformation einen Stamm gefunden, der nach Dicke oder Länge diese unsere Waldbäume auch nur annähernd erreichte. 3 Fuß ist wol der größte Durchmesser, den irgendein Baumstamm der Kohlenperiode erreichte.

Auch besonders anmuthig können jene Wälder nicht gewesen sein, deren Ueberreste wir in der Steinkohlenformation finden; denn abgesehen von dem wahrscheinlich sumpfigen Boden, fehlten ihnen beinahe vollständig bunte Blüten und Früchte; kein Vogel belebte ihre Zweige, kein Säugethier durchbrach ihre Dickichte, und selbst das helle Sonnenlicht scheint ihnen durch eine stets trübe Atmosphäre entzogen worden zu sein, wie sich aus den aufgefundenen Insektenresten ergibt, die ausnahmslos solchen Arten verwandt sind, die gegenwärtig das Sonnenlicht meiden, theils nur in der Dämmerung oder bei Nacht aus ihren Schlupfwinkeln hervorkommen. Auch von größern Reptilien sind in den Schichten der Kohlenformation nur selten Ueberreste gefunden worden; die Köpfe eines Sauriers (Archaegosaurus) sind die einzigen Spuren davon. An einigen Orten findet man ziemlich viele Schalen von Süßwasserconchylien, welche, wie die Landnatur der Pflanzen, beweisen, daß das Material zu den Kohlen auf der Landoberfläche gewachsen, in den meisten Fällen auch wol auf dem Lande in Sümpfen und Landseen abgelagert worden ist; doch finden sich an einigen Orten zwischen den Steinkohlenschichten auch Abdrücke von echten Meeresfischen und Muscheln, besonders aus dem gänzlich ausgestorbenen Geschlechte Palaeoniscus, woraus sich denn ergibt, daß in diesen Fällen das ebenfalls aus Landpflanzen bestehende Material der Kohlenlager in benachbarte Meeresbuchten eingeschwemmt und da erst zur Ablagerung gelangt ist.

Erzlagerstätten.

(Tafel 3.)

Erze nennt man alle Mineralien oder Mineralverbindungen, aus denen sich mit Vortheil Metalle gewinnen lassen; es gehören dazu gediegene Metalle, Schwefelmetalle, Metalloxyde, Metallsalze und einige andere metallhaltige Verbindungen, unabhängig davon, welcher Klasse oder Ordnung des Mineralsystems sie angehören. **Erzlagerstätten** aber nennt man alle zur Gewinnung geeignete locale Anhäufungen solcher Mineralien, auch in dem Falle, wenn dieselben untergeordnet, außer den Erzen, einige nicht metallhaltige Mineralsubstanzen enthalten.

Dieser mehr praktische als wissenschaftliche Begriff ist daher nothwendig nicht lediglich von der Größe des Metallgehaltes an sich, sondern auch zugleich von einigen andern Umständen abhängig, so z. B. von dem Handelswerth der einzelnen Metalle, von der größern oder geringern Leichtigkeit ihrer Trennung, von den nichtmetallischen Nebenbestandtheilen, von den Preisen der Arbeitslöhne, der Brennmaterialien, des Transports u. s. w. Um das durch ein Beispiel zu erläutern, dürfte es genügen hervorzuheben, daß z. B. eine Quarzmasse welche 1—10 Procent Eisen in irgendeinem Zustande enthält, niemals ein Erz genannt werden kann, während dagegen eine Quarzmasse mit 1 Procent Goldgehalt jedenfalls ein sehr reiches Erz ist.

Gehen wir nach dieser allgemeinen Vorbemerkung zur Erläuterung der Abbildungen über.

Taf. 3, Fig. 1 stellt zunächst übersichtlich die verschiedenen Formen und Arten des Vorkommens von Erzlagerstätten dar, deren jede allerdings sehr variiren kann. Allgemein unterscheidet man **Erzlager**, **Erzgänge**, **Erzstöcke** und **Erzimprägnationen**.

Erzlager (Fig. 1 a) nennt man plattenförmige

Erzanhäufungen, welche parallel zwischen Gesteinsschichten irgendeiner Art liegen und welche ihrer ganzen Natur nach selbst als erzhaltige Schichten anzusehen sind, die ungefähr gleichzeitig, d. h. in derselben Periode mit den sie einschließenden Schichten abgelagert zu sein scheinen. Selbstverständlich muß die zunächst darunter befindliche Schicht — wie alle noch tiefer liegenden, die man gemeinsam das **Liegende** des Lagers zu nennen pflegt — bereits vorhanden gewesen, also etwas früher abgelagert worden sein als das sie bedeckende Erzlager; alle darüberliegenden Schichten, die man gemeinsam das **Hangende** nennt, dagegen etwas später.

In Form von Lagern treten vorzugsweise häufig die verschiedenen Arten von Eisenerzen auf, so namentlich Brauneisenstein, Rotheisenstein, Magneteisenstein, Spateisenstein, Sphärosiderit und Thoneisenstein; weit seltener auch die Erze anderer Metalle. Für die bergmännische Gewinnung ist die Lagerform bei hinreichender Mächtigkeit und Qualität besonders günstig wegen ihrer Regelmäßigkeit und Verbreitungsart, sowie wegen der verhältnißmäßig großen Gleichförmigkeit ihres Gehalts.

Erzgänge nennt man diejenigen Erzanhäufungen, welche Spalten in irgendeinem Gesteine ausfüllen und daher ebenfalls vorherrschend plattenförmig gestaltet sind, aber ohne daß diese Platten den Schichten des einschließenden Gesteins parallel laufen müssen, wie das bei den Lagern der Fall ist; die Richtung der Gangspalten ist vielmehr meist ganz unabhängig von der Schichtung, Schieferung oder Zerklüftung des Gesteins (sogenannten **Nebengesteins**) in welchem sie auftreten, wie z. B. Fig. 1 bei b, c, d, e, i und k. Doch gibt es auch Gänge (also Spaltenausfüllungen), welche der Schichtung oder Schieferung eines Gesteins parallel laufen, wie z. B. Fig. 1 f. Diese nennt man zur Unterscheidung von den gewöhnlichen Querspaltengängen auch wol **Lagergänge**, weil sie echten Lagern ähnlich sehen und leicht mit solchen verwechselt werden können. Tritt jedoch der Fall ein, daß ein der Schichtung oder Schieferung des Nebengesteins paralleler Gang einen andern Gang oder mehrere durchschneidet („durchsetzt"), wie z. B. f die Gänge c durchschneidet, so ist damit seine Gangnatur (d. h. Entstehung durch Spaltenausfüllung) sicher entschieden, und man muß ihn zu den Lagergängen rechnen, während echte Lager niemals vorhandene Gänge durchschneiden, sondern nur von ihnen durchsetzt werden können, wie z. B. a von b in Fig. 1.

Contactgänge nennt man diejenigen Spaltenausfüllungen, welche sich auf der Grenze zwischen zwei verschiedenartigen Gesteinen befinden, wie z. B. Fig. 1i, ein Fall der gar nicht selten vorkommt, wahrscheinlich weil auf solchen Grenzflächen besonders leicht Spalten aufrissen, die nachher ausgefüllt werden konnten.

Wenn mehrere oder viele Gänge in einer Gegend sich nach verschiedenen Richtungen durchschneiden, wie bei k, so nennt man das **Netzgänge**, oder auch wol gemeinsam einen Gangstock; weit häufiger kommt es jedoch vor, daß mehrere oder viele Gänge ziemlich parallel nebeneinander verlaufen (fallen und streichen), und diese bezeichnet man dann gemeinsam als einen Gangzug.

Wo irgend zwei Gänge sich in ihrem Verlaufe durchschneiden, da bilden sie ein sogenanntes Gangkreuz, so z. B. mehrfach auf Fig. 6 und bei k auf Fig. 1. Dergleichen Gangkreuze pflegen oft mehr oder bessere Erze zu enthalten als die Gänge in ihrem getrennten Verlaufe, namentlich dann, wenn jüngere Gänge ältere durchschnitten haben, was dann häufig mit sogenannten Verwerfungen (theilweisen Verschiebungen) der ältern Gänge verbunden war, wie mehrfach in Fig. 6.

Wenn dagegen ein Gang sich in zwei zerspaltet, „gabelt", wie c, Fig. 1, und b, Fig. 9, so nennt man die kleinere Abzweigung ein Seitentrum.

In Gängen pflegen weit mannichfaltigere Erze und andere Mineralien (sogenannte **Gangarten**) vorzukommen als in Lagern, worauf wir demnächst noch zurückkommen werden.

Erzstöcke oder stockförmige Erzlagerstätten nennt man massige, unregelmäßig gestaltete Erzanhäufungen in irgendeinem Gestein oder auf der Grenze zwischen zwei verschiedenartigen Gesteinen, wie z. B. l, m und r, Fig. 1. Dabei pflegt man aber noch zu unterscheiden zwischen **Lagerstöcken** oder liegenden Stöcken und **Gangstöcken** oder stehenden Stöcken. Unter erstern versteht man solche, deren Hauptausdehnung ungefähr der Schieferung oder Schichtung des einschließenden Gesteins folgt, wie bei l, Fig. 1; unter letzterm dagegen solche, welche mit ihrer Hauptausdehnung die Schieferung oder Schichtung des einschließenden Gesteins unter ziemlich starkem Winkel durchschneiden, wie bei m. Wenn dagegen eine stockförmige Masse nur eine unregelmäßige Vertiefung der Oberfläche eines Gesteins ausfüllt, wie bei r, so nennt man das auch wol eine Erzbutze oder Nachel.

Stockförmig tritt besonders häufig Magneteisenstein auf, aber auch andere Erze kommen zuweilen stockförmig, besonders in Kalkstein, vor; so namentlich Bleiglanz, Blende und Galmei. Die Lagerstöcke gleichen ihrer Gestalt nach ungefähr großen unregelmäßigen Linsen, und diese können durch Flächenausdehnung bei geringer Dicke (Mächtigkeit) in Lager übergehen, ja manche, namentlich Sphärosideritlager, sind geradezu aus vielen einzelnen linsenförmigen Massen zusammengesetzt.

Erzimprägnationen nennt man solche Lagerstätten, deren Erztheilchen durch die Masse eines gewöhnlichen Gesteins vertheilt sind, ohne scharfe äußere Umgrenzung ihres Vertheilungsraums, während Lager, Gänge und Stöcke in der Regel ziemlich bestimmte äußere Grenzen zeigen.

Dabei können Imprägnationen durch die allgemeine Gestalt des Raums, den sie einnehmen, sich der Form nach sowol den Lagern als den Gängen und Stöcken nähern, weshalb man denn auch lagerförmige (wie bei n Fig. 1), gangförmige (bei o) und stockförmige Imprägnationen unterscheidet. Nur selten kommen Erzimprägnationen ganz selbständig, d. h. ohne Verbindung mit bestimmter abgegrenzten Lagerstätten vor, d. h. sie begleiten in den meisten Fällen Lager oder Gänge in ihrem Hangenden und Liegenden, wie bei o, Fig. 1, oder sie umhüllen allseitig stockförmige Massen.

Da die Erzgänge die wichtigste und interessanteste Gruppe von Erzlagerstätten bilden, so sind einige ihrer Eigenthümlichkeiten durch folgende Figuren: 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8, specieller erläutert worden. Hierzu noch Folgendes: In den Gängen treten mit den Erzen oft innig verbunden gewöhnlich einige nicht metallhaltige Mineralien, zuweilen auch Bruchstücke oder zerriebene Theile des Nebengesteins auf, die man zum Unterschied von den eigentlichen Erzen **Gangarten** zu nennen pflegt. Die häufigsten sind Quarz, Kalkspat, Braunspat, Manganspat, Eisenspat, Schwerspat und Flußspat; außer diesen kommen aber noch zahlreiche andere Mineralien zuweilen als Gangarten vor. Die Erze und Gangarten sind nun in den Erzgängen auf verschiedene Weise verbunden, und bringen dadurch

Texturerscheinungen hervor, die zum Theil allerdings mit denen der Gesteine übereinstimmen, zum Theil aber auch davon verschieden sind. Die Figuren 3, 4 und 8 stellen neben andern Gangerscheinungen einige besonders charakteristische Texturverhältnisse dar.

Ganz besonders interessant und lehrreich ist die sogenannte Lagentextur vieler Erzgänge, wovon Fig. 3 ein ausgezeichnetes Beispiel liefert. In diesem Falle ist die von a bis a geöffnete Spalte nach und nach durch zehn untereinander etwas verschiedene Minerallagen ausgefüllt worden, die auf der Abbildung durch die Buchstaben a bis l in ihrer chronologischen Aufeinanderfolge bezeichnet sind. Zuerst bildete sich an beiden Spaltenwänden die aus Blende bestehende Lage a aus, darüber die Quarzlage b, dann eine Flußspatlage c, und so fort bis l, welches die mittelste aus Kalkspat bestehende Doppellage ist. Da diese beiderseitig angefangene Doppelschicht den noch übrigen Spaltenraum nicht allenthalben vollständig erfüllte, so blieben theilweise flache Hohlräume übrig, in welche der Kalkspat auskrystallisirte und so mittlere Drusenräume bildete.

In diesem Falle ist die Anordnung der einzelnen Minerallagen eine durchaus symmetrische von den Spaltenwänden oder sogenannten Saalbändern des Ganges nach der Mitte zu, und die einzelnen Lagen bestehen meist aus gänzlich voneinander verschiedenen Mineralsubstanzen; das ist aber keineswegs immer der Fall; nicht selten bestehen die meisten einzelnen Lagen aus derselben Mineralsubstanz, und unterscheiden sich nur durch etwas verschiedene Färbung oder Krystallisation voneinander, wie das namentlich bei den sogenannten Bandachatgängen der Fall ist, in denen man zuweilen mehr als hundert regelmäßig aufeinanderfolgende, nur etwas ungleich gefärbte Lagen von Kieselsubstanz unterscheiden kann.

Auch die symmetrische Anordnung der Lagen ist zuweilen unterbrochen oder gestört, indem einzelne Minerallagen nur einseitig auftreten oder in einer falschen Stellung eingeschoben erscheinen, welche letztere Abweichung von der normalen Symmetrie meist dadurch erklärt werden kann, daß nach der ersten Ausfüllung der Spalte in dem so weit fertigen Gange aufs neue Spalten aufgerissen sind, die der ersten Spalte mehr oder weniger parallel verlaufen, und nun nachträglich von Mineralsubstanzen erfüllt wurden. Auf diese Weise scheint z. B. der Fig. 2 dargestellte Fall am einfachsten erklärt werden zu können.

Fig. 4 stellt eine etwas unregelmäßig zerspaltene, und von Erzgängen durchzogene Felswand des Monte-Calvi in Oberitalien dar, in welcher sich die Erze und Gangarten derart concentrisch-schalig gruppirt haben, daß dadurch sogenannte Ringerze oder Cocardenerze entstanden sind, welche im Querbruch concentrische Lagen von ungleicher Beschaffenheit und Farbe zeigen.

Fig. 8 zeigt den Durchschnitt eines sogenannten Doppelganges, welcher durch Ausfüllung zweier parallel neben- und nacheinander aufgerissener Spalten zu erklären ist. In der durch a und b bezeichneten Spalte ist zuerst eine krystallinische Quarzlage (a) an beiden Spaltenwänden abgelagert worden, und dann wurde der mittlere Raum (b) durch eine Breccie ausgefüllt, deren aus Blende und Bleiglanz bestehende Bruchstücke durch krystallinischen Quarz verbunden sind, welcher die einzelnen Stücke radial umstrahlt. Die Spalte zwischen a und c scheint dann später aufgerissen und durch ganz andere Materialien ausgefüllt worden zu sein.

Fig. 9 zeigt uns in schieferigem Gneis einen ältern, aus Blende und Bleiglanz massig zusammengesetzten Gang, welcher von einem jüngern Schwerspatgange durchsetzt ist, der im obern Theil der Figur sich verzweigt.

Fig. 6 liefert einen idealisirten Querschnitt der sehr verwickelten Gesteins- und Gangverhältnisse eines Zinnerzgebiets in Cornwall. Hier besteht die Gegend vorherrschend aus dem von den dortigen Bergleuten Killas genannten Thonschiefer (K). Dieser ist zunächst local unterbrochen und durchsetzt von mächtigen Granitmassen (G), welche hier und da auch kleine gangförmige Ausläufer in den Thonschiefer bilden. Diese beiden Gesteine sind nun aber wieder mehrfach gangförmig durchsetzt von einer Art Quarzporphyr (P), welchen in Cornwall die Bergleute Elvans zu nennen pflegen. Noch später sind dann zahlreiche Spalten aufgerissen, in welchen sich Zinnerze und zum Theil auch Kupfererze, zugleich mit verschiedenen andern Mineralsubstanzen, ablagerten. Diese Erzgänge sind auf der Abbildung durch schwarze Linien dargestellt, und es ist aus den Beziehungen dieser Linien zueinander zugleich erkennbar, daß diese Spalten in verschiedenen Zeiten nacheinander aufgerissen und ausgefüllt worden sein müssen, denn sie kreuzen sich nicht nur vielfach, sondern durchsetzen und verwerfen sich auch ziemlich häufig, so namentlich unter v und e. Die kleine Partie bei S deutet ein sogenanntes Zinnseifenlager an, welches hier offenbar durch theilweise mechanische Zerstörung, Ab- und Anschwemmung von Zinnerzgängen entstanden ist, und aus welchen sich das Zinnerz nun um so leichter gewinnen läßt.

Fig. 7 stellt den Querschnitt eines solchen sogenannten Seifenlagers am Ural dar, aus welchem aber nicht Zinnerz, sondern kleine Goldkörner aus den Sand-, Lehm- und Geröllschichten b und c gewonnen werden, die hier die unebene Oberfläche von krystallinischen Schiefergesteinen (a) überdecken, und selbst wieder von einer unhaltigen Bodenschicht theilweise überdeckt werden. Alle Seifenlager — deren Benennung von der Methode ihrer Gewinnung, dem Auswaschen oder Ausseifen herrührt — haben das Gemeinsame, daß man in ihnen keine festanstehenden Erze, sondern nur lose eingestreute Körner oder Blättchen eines specifisch schweren und zugleich schwer zerstörbaren Metalls, wie Gold und Platin, oder Zinnerz, weit seltener auch Edelsteinkörner (wie Diamanten) findet, die den mechanischen und chemischen Einwirkungen des Wassers großen Widerstand leisteten.

Fig. 5 stellt nun schließlich noch einen sehr sonderbaren Fall von Verwerfung dar, bei dem es zunächst den Anschein gewinnen kann, als wenn gegen alle Wahrscheinlichkeit der jüngere Gang b, welcher einen ältern a sehr deutlich durchschnitten (durchsetzt hat), dennoch von dem ältern a sogar zweimal verworfen sei, was nach der streng mathemathischen Theorie der Verwerfungen eine absolute Unmöglichkeit ist. Dieses Räthsel löst sich indessen sehr einfach durch die Voraussetzung, daß an den Saalbändern (Spaltenwänden) des ältern Doppelganges a, nachdem er bereits von b durchsetzt war, nochmals Spalten aufgerissen sind, welche mit Verschiebung der Massen verbunden waren, ohne ausgefüllt zu werden — d. h. ohne wirkliche Gänge zu bilden —, wie das sehr häufig geschehen zu sein scheint. Dergleichen Spalten nennt man Verwerfungsklüfte.

Organismen der geologischen Perioden.

(Tafel 4 bis 7.)

Die Tafeln 4 bis 7 stellen charakteristische Beispiele von Organismen verschiedener geologischer Perioden

bar, deren Ueberreste man im fossilen (versteinerten) Zustande aufgefunden und danach zum Theil möglichst ergänzt hat. Da aber diese vier Tafeln nicht chronologisch geordnet sind, so dürfte es zweckmäßig sein, der Besprechung der einzelnen hier eine dem Alter der durch sie dargestellten geologischen Zeiträume entsprechende Reihenfolge vorauszuschicken.

Grauwackenperiode, umfassend die cambrische, silurische und devonische Zeit, Taf. 7, welche jedoch am untern Rande auch noch einige Pflanzenreste der Kohlen- und Dyasperiode enthält, deren wichtigste bereits auf Taf. 2 dargestellt wurden. — Kohlenperiode, Taf. 2. — Triasperiode, Taf. 4. — Jura- und Kreideperiode, Taf. 5. — Tertiärperiode, Taf. 6.

Triasperiode

Nach den in Deutschland bekannten Ablagerungen pflegt man die Triasperiode in eine Buntsandstein-, Muschelkalk- und Keuperzeit einzutheilen. Aus allen diesen Zeitabschnitten sind auf Taf. 4 einige Organismen, zum Theil in etwas idealisirter Ergänzung dargestellt. Während der ganzen Triasperiode scheint Deutschland local wechselnd Land- und Meeresboden gewesen zu sein, denn man findet Reste von Land- und Meeresorganismen theils in verschiedenen, miteinander wechselnden Schichten, theils sogar in denselben Schichten beisammen, in welchem letztern Falle die Landpflanzenreste als in eine flache Meeresbucht eingeschwemmt anzusehen sind. Die Pflanzen und Thiere dieser Periode waren jedenfalls sehr verschieden von allen denen, welche heute auf der Erde leben; auch zeigt sich in der Vertheilung ihrer fossilen Reste noch keine Spur deutlicher Klimazonen.

Fig. 5 auf Taf. 4 stellt eine ideal componirte Gruppe von Bewohnern jenes Meeres und seiner Ufer dar, aus welchem die Muschelkalkformation abgelagert worden ist, während Fig. 1 bis 4 und 6 bis 14 einzelne für diesen geologischen Zeitraum besonders charakteristische Reste von Meeresbewohnern bringen, deren Namen am untern Rande der Tafel angegeben sind. In dem stark bewegten Meer auf Fig. 5 schwimmen zwei vom benachbarten Lande eingeschwemmte Baumstrünke, auf deren einem ein riesiger Notosaurus hinaufzuklettern bemüht ist, wahrscheinlich weil seine vier Füße weit besser zum Fortbewegen auf dem Lande als zum Schwimmen in stürmischen Fluten eingerichtet waren. Ein ganz ähnliches Reptil hat wol aus gleichem Grunde sich auf eine benachbarte Felsklippe gerettet, auf deren flacher Ausbreitung zahlreiche Seethiere verschiedenster Art ausgespült wurden, deren fossile Reste zum Theil auf unserer Tafel speciell abgebildet sind.

Fig. 1: Nautilus bidorsatus, eine längst ausgestorbene Species der Nautileen, welche noch jetzt das Meer bewohnen, während Fig. 4, Ceratites nodosus, einem Geschlechte der Ammoneen angehört, die seit dem Schluß der Kreideperiode überhaupt vollständig ausgestorben zu sein scheinen, während sie in der Juraperiode ihre größte Blüte erreichten.

Fig. 2: Encrinus liliiformis, muß in der Muschelkalkzeit ungemein zahlreich den Meeresboden bewohnt haben, denn es finden sich in dieser Formation weit ausgedehnte Schichten, die fast nur aus den unter 2 besonders abgebildeten Stielgliedern dieses längst erloschenen Crinoideen bestehen.

Fig. 6, 8, 9, 12 und 13 stellen einige besonders charakteristische Conchylien desselben Zeitraums dar, 10 einen Krebs, 11 einen Seestern und 14 eigenthümliche innere Organe gewisser Cephalopoden; Fig. 17 eine ideal zusammengestellte Landschaft der Keuperzeit; zwischen Hügeln, die nur sparsam von Cycadeen und Farrn bewachsen sind, dehnt sich ein sumpfiges Thal aus, von dessen Boden sich riesige Schachtelhalme und andere Sumpfpflanzen erheben. Von den erstern liefert Fig. 7 eine speciellere Zeichnung. Das scheußliche Reptil auf Fig. 17 ist ein Mastodonsaurus, dessen Kopfreste ziemlich häufig im Keuper gefunden werden. In derselben Formation sind auch bisjetzt die ältesten Säugethierreste gefunden worden, wovon Fig. 19 eine Kinnlade darstellt.

Die Buntsandsteinformation enthält in Deutschland verhältnißmäßig nur wenig organische Reste, darunter einige Pflanzenabdrücke, Fig. 18, welche von Araucarien ähnlichen Bäumen herzurühren scheinen, sowie höchst merkwürdige Fußeindrücke (Fährten) eines sehr großen Chirosaurus genannten Reptils, die man in der Gegend von Hildburghausen ziemlich häufig auf den Schichtflächen eines Sandsteins findet.

Jura- und Kreideperiode.

Taf. 5 enthält Abbildungen einiger besonders charakteristischer Lebensformen der Jura- und Kreideperiode.

Fig. 4 zunächst eine nach Oswald Heer ideal zusammengestellte Küstengegend der Jurazeit. Vom flachen Meeresgrunde wachsen mancherlei Korallen, Schwämme und Crinoideen empor, zwischen denen die Schalen von verschiedenen Conchylien umherliegen, die zum Theil am Rande der Tafel speciell abgebildet sind. Die sich nur flach über den Meeresspiegel erhebenden Küsten und Inseln — zum Theil Koralleninseln — sind von einer üppigen Vegetation bedeckt, die vorherrschend aus Farrn, Cycadeen und Palmen besteht.

Fig. 19 bringt dagegen eine ideal ergänzte Thiergruppe aus dem Zeitraum zwischen Jura- und Kreideperiode, in welchem die Wielden- und Deisterformation abgelagert worden sind.

Nach diesen beiden belebten Landschaftsbildern wollen wir die auf unserer Tafel dargestellten, besonders charakteristischen fossilen Thierformationen beider Perioden etwas näher betrachten, und zwar zunächst die der Jurazeit. Fig. 5, 6 und 7 stellen drei höchst merkwürdige Reptilien dieses Zeitraums dar; Fig. 5 eine sogenannte Flugechse (Pterodactylus); das war, nach mehrern im lithographischen Kalkstein von Solenhofen gefundenen Skeleten, ein mit scharfen Zähnen bewaffnetes eidechsenartiges Thier, welches vermittels fledermausartiger Flughäute sich durch die Luft bewegen konnte, während lange Krallen an den Extremitäten vielleicht dazu dienten, seine Beute zu erfassen oder sich selbst an Baumästen anzuklammern. Fast ebenso abweichend von allen jetzt lebenden Thierformen waren die Meeressaurier, Fig. 6 und 7. Beide mit flossenähnlichen Schwimmfüßen, wie sie kein lebendes Reptil besitzt, vorherrschend auf das Leben im Meere angewiesen, kaum befähigt sich auf trockenem Lande fortzubewegen; beide nach ihrem Zahn- und Körperbau höchst gefräßige Raubthiere, wie sich sogar aus den von ihnen herrührenden versteinerten Excrementen (Koprolithen, Fig. 8) ergibt, welche zahlreiche Reste thierischer Nahrung enthalten. Den Plesiosaurus scheint sein schwanenartiger langer Hals dazu befähigt zu haben, den Kopf hoch über den Wasserspiegel zu erheben, um weithin nach Beute auszuspähen, während dagegen der massige und plumpe Ichthyosaurus durch wahrhaft tellergroße Augen besonders befähigt gewesen zu sein scheint, auch tief unter dem Meeresspiegel noch deutlich zu sehen. Diese monströsen Reptilien haben, wie sich aus ihren Skeleten ergibt, zuweilen eine Länge von mehr als 30 Fuß erreicht, und müssen während der Ablagerung der sogenannten Liasformation in Südengland wie in

Schwaben ungemein häufig gewesen sein, wie sich aus der großen Zahl von ihnen herrührender Knochen und Zähne ergibt, die man aufgefunden hat.

Unter den wirbellosen Thieren dieser Periode spielen die Cephalopoden eine ganz besonders interessante Rolle. Es lebten damals noch zahlreiche Genera und Species dieser Ordnung, die jetzt gänzlich ausgestorben sind, so namentlich Belemniten und Ammoniten, Fig. 1, 2 und 10. Von zweispaltigen Meeresmuscheln und Brachiopoden dieser Periode sind unter Fig. 9, 11 und 27 drei Beispiele abgebildet, von Strahlthieren dagegen zwei unter Fig. 3 und 23.

In der Kreideperiode lebten ebenfalls noch viele Belemniten und ammonitenartige Cephalopoden, die nachher gänzlich ausgestorben sind. Fig. 16, 24 und 25 stellen sogenannte Krüppelformen der Kreideammoneen dar, in welchen sich die bei den echten Ammoniten spiralförmig fest aufgerollte Schale theils gelockert und theilweise aufgewickelt, theils thurmförmig aufgebaut zeigt. Fig. 12 gehört ebenfalls zu den Cephalopoden dieser Periode, ist aber kein Ammonit, sondern ein echter Nautilus, dessen Nachkommen noch jetzt lebend im Meere gefunden werden. Unter den zweischaligen Muscheln der Kreideperiode sind besonders die zur Abtheilung der Rudisten gehörigen Hyppuriten, Fig. 17, höchst charakteristisch; aus ihren dicken Schalen bestehen beinahe ausschließlich gewisse ziemlich mächtige und weitverbreitete kalkige Ablagerungen in den Alpen und an den Küsten des Mittelländischen Meeres, die man deshalb Hyppuritenkalksteine genannt hat. Vielleicht nicht ganz so häufig, aber ebenso charakteristisch sind die Fig. 13, 15, 18 und 27 abgebildeten zweischaligen Muscheln (zum Theil Terebrateln). Aus der Klasse der Strahlthiere kommen in den Ablagerungen der Kreideperiode sehr viele, zuweilen in Feuerstein umgewandelte Echiniten oder Seeigel vor, zu denen z. B. auch der Fig. 22 abgebildete Spatangus gehört. Aus der Abtheilung der Ringelwürmer finden sich zuweilen massenhafte Anhäufungen von Serpula, Fig. 21, während dagegen das Gestein der weißen Kreide, wie sich unter dem Mikroskop ergibt, fast gänzlich aus den mit bloßem Auge unsichtbar kleinen Kalkschalen von Foraminiferen und Polythalamien zusammengesetzt ist, wovon Fig. 26 sehr vergrößerte Abbildungen bringt.

Tertiärperiode.

Man pflegt die Tertiärperiode in drei Hauptabschnitte zu theilen, nämlich in die älteste oder eocäne Tertiärzeit, die mittlere oder miocäne und die neueste oder pliocäne; doch sind die Ablagerungen dieser einzelnen Zeiträume nicht immer scharf und leicht erkennbar voneinander verschieden, während dagegen auch die ältesten Tertiärschichten sowol durch ihre Lagerung und Gesteinsbeschaffenheit, als durch ihre Versteinerungen scharf und leicht erkennbar von den jüngsten Ablagerungen der Kreideperiode getrennt zu sein pflegen. Alle tertiären Ablagerungen unterscheiden sich besonders auch dadurch von allen ältern, daß sie unter ihren Versteinerungen die Ueberreste einiger noch lebender Species enthalten, während in den ältern Ablagerungen von der Kreide an abwärts noch niemals deutliche Reste einer noch jetzt lebenden Art gefunden worden sind. Das Verhältniß der lebenden Arten zu den ausgestorbenen nimmt aber in den tertiären Ablagerungen derart stetig zu, daß, während die ältesten Tertiärschichten nur wenige Procent lebende Species enthalten, in den mittlern beinahe schon ein Drittel lebender Species zusammen mit zwei Drittel ausgestorbener gefunden werden, in den neuesten pliocänen die lebenden Arten sogar die ausgestorbenen überwiegen. Auf dieses Verhältniß begründete Lyell seine Eintheilung in eocän, miocän und pliocän. Auf unserm Bilde sind einige charakteristische Lebensformen aller drei Zeitabschnitte dargestellt.

Beginnen wir mit der nähern Betrachtung der ideal zusammengestellten tertiären Landschaft, Taf. 6, Fig. 3. Da in derselben nur solche Pflanzen dargestellt sind, deren fossile Reste im südlichen Deutschland und der Schweiz aufgefunden wurden, so geht daraus hervor, daß dieser Erdraum damals ein fast tropisches (subtropisches) Klima besessen haben muß, denn Palmen, Cycadeen u. dgl. herrschen durchaus vor; von den andern Baum-, Strauch- und Krautarten ist nur eine mächtige Araucarie auf der linken Seite deutlich erkennbar; es sind aber jedenfalls schon zahlreiche Dicotyledonen und andere üppig blühende Pflanzen darunter, während diese in den vorhergehenden geologischen Perioden noch äußerst selten gewesen sind und der Kohlenperiode wahrscheinlich ganz fehlten. Damit stimmt auch die reiche Fauna der tertiären Periode überein; man hat Reste und Spuren von zahlreichen Insekten gefunden, und auch sehr viele Knochen verschiedenartiger Säugethiere, die jedoch auf unserm Bilde nur durch zwei Riesenelefanten (Mammuth) und einige Flußpferde vertreten sind. Ein großer Salamander, Andrias Scheuchzeri (Fig. 5), ist uns als Skelet unter unserer tertiären Sumpflandschaft dargestellt. Dieses Skelet wurde schon im vorigen Jahrhundert bei Oeningen in neutertiärem Kalkstein aufgefunden und damals von Scheuchzer als homo diluvii testis bestimmt. In derselben Kalksteinlagerung finden sich sehr zahlreiche Abdrücke von Landpflanzen, Süßwasserfischen, Muscheln und Insekten.

Fig. 2 ist das in Alabama aufgefundene Skelet eines riesigen Seesäugethiers (einer Cetacee), welches anfangs für ein großes, 80 Fuß langes Reptil gehalten und in Europa unter dem Namen Hydrarchos vorgezeigt wurde.

Ungemein reich an Fischabdrücken sind besonders die eocänen Kalkschichten am Monte-Bolca in Oberitalien, und die ungefähr gleichalten Thonschiefer im Canton Glarus. Vom erstern Orte stammt der Fisch Fig. 1, vom letztern dagegen der Fig. 14. Diese letztere Localität ist namentlich deshalb von ganz besonderm geologischen Interesse, weil man daselbst in einem verhältnißmäßig kleinen Gebiet 53 Species von ausgestorbenen Seefischen entdeckte, die in keiner andern gleichalten Ablagerung bekannt sind. Fig. 9 ist der Zahn eines tertiären Haifisches, wovon ebenfalls sehr viele Species in den neutertiären Ablagerungen gefunden wurden. Unter Fig. 8 sind drei tertiäre Krebsformen abgebildet, a Telphusa speciosa, eine Seekrabbe, b Eier einer Daphnia und c Cypris faba, ein sehr kleiner Süßwasserkrebs, welcher in eine bohnenförmige Schale eingeschlossen und deshalb schwer als Krebsthier zu erkennen ist.

Fig. 11 ist die Schale eines tertiären Cephalopoden, welche sich der lebenden Gattung Argonauta anschließt.

Fig. 13 stellt 26 Arten von Meeresconchylien dar, welche in den eocänen Ablagerungen des pariser Beckens, besonders im sogenannten Grobkalk gefunden wurden, aus dem man weit über 1000 Species kennt. Da dieselben auf der Tafel nicht einzeln benannt sind, so folgt hier ein nach den beigesetzten Buchstaben geordnetes Verzeichniß:

a Cassidaria carinata,
b Strombus ornatus,
c Conus diversiformis,
d Rostellaria columbella,

e Ampullaria accumulata,
f Buccinum stromboides,
g Pyrula nexilis,
h Pleurotoma transversaria,
i Marginella ovulata,
k Harpa mutica,
l Cerithium tricarinatum,
m Oliva nitidula,
n Fusus bulbiformis,
o Bifronta laudinensis,
p Cyrena depressa,
q Natica cepacea,
r Neritina conoides,
s Pileopsis cornucopiae,
t Lucina concentrica,
u Cardium aviculare,
v Corbis tumida,
w Venericordia coravium,
x Chama lamellosa,
y Cyrena depressa,
z Cyclostoma mumia,
tz Venus turgidula.

Das sind eben nur wenige Beispiele einer ungemein reichhaltigen localen Meeresfauna der ersten Tertiärzeit, welcher auch das besonders schöne und große, unter Fig. 4 abgebildete Cerithium giganteum angehörte.

Noch einige höchst merkwürdige eocäne Schaltbierformen sind unter Fig. 6, 7 und 12 abgebildet, nämlich sogenannte Nummuliten, aus deren fossilen Resten weitverbreitete mächtige Ablagerungen der ältern Tertiärzeit ganz vorherrschend zusammengesetzt sind, weshalb man dieselben auch wol Nummulitengesteine (Nummulitenkalksteine und Nummulitensandsteine) zu nennen pflegt. Diese Nummulitengesteine wurden zuerst sehr mächtig an den Alpenrändern erkannt, breiten sich aber von da aus durch das gesammte große Karpatengebiet über sämmtliche Küstenländer des Mittelländischen und des Rothen Meeres aus, und selbst auf Borneo und Sumatra scheinen sie noch ziemlich ausgedehnt vorhanden zu sein, während dagegen die deutschen, französischen und englischen Tertiärbildungen gleichen Alters nördlich von den Alpen nur höchst selten und ganz vereinzelt Nummulitenreste enthalten. Diese meist flach-linsenförmigen Gehäuse, welche wegen ihrer Aehnlichkeit mit Münzen „Nummuliten" genannt wurden, gehören der in der Reihe der thierischen Organismen sehr tief stehenden Ordnung der Foraminiferen an, und zeigen, wenn man sie passend durchbricht oder durchschneidet, einen spiralförmigen Bau und eine Zusammensetzung aus lauter kleinen Zellen, deren jede von einem besondern Thierchen bewohnt gewesen zu sein scheint, ähnlich wie die kleinen Zellen der Korallen. Echte Nummuliten existiren gegenwärtig nicht mehr lebend im Meere, und scheinen auch vor der Tertiärperiode, in der sie eine so außerordentliche Rolle spielten, nicht existirt zu haben.

Endlich ist unter Fig. 10 noch der Zapfen einer tertiären Sequoia (Wellingtonia) abgebildet, also demselben Genus zugehörig, dem die californischen Baumriesen angehören; sonderbarerweise scheinen aber die tertiären Sequoien bei weitem nicht die Größe der californischen erreicht zu haben, während dagegen ihre fossil aufgefundenen Zapfen zum Theil sogar noch etwas größer sind als die der californischen Riesenbäume.

Grauwackenperiode.

Grauwackenperiode oder auch Uebergangsperiode pflegt man den ältesten geologischen Zeitraum zu nennen, aus welchem deutliche organische Reste als Versteinerungen bekannt sind. Was ihm vorherging, wird etwas ungenau als Erstarrungsperiode oder auch wol als azoische Zeit bezeichnet. Die Grauwackenperiode theilt man aber neuerlich gewöhnlich in eine cambrische, silurische und devonische Zeit ein; an letztere schließen sich dann als noch neuer die Kohlenperiode und die Dyasperiode an, welche mit der Grauwackenperiode auch wol gemeinsam zu dem primären Zeitraum gerechnet werden, im Gegensatz zu dem secundären, welcher Trias-, Jura- und Kreideperiode umfaßt, auf welche dann der tertiäre und quartäre Zeitraum folgte. Taf. 7 enthält Abbildungen von Versteinerungen aus allen drei Zeiträumen der Grauwackenperiode, und außerdem noch zwei aus der Dyasperiode.

Aus der cambrischen Zeit, in den ältesten deutlich sedimentären Gesteinen, sind nur sehr wenige sicher bestimmbare organische Reste bekannt, und darunter noch gar keine von Wirbelthieren. Es sind darin nur wenige niedere Meeresmuschelarten, undeutliche Zoophyten und eine noch etwas unsichere Pflanze, Oldhamia, Fig. 6, gefunden worden; selbst von der wahrscheinlichen Foraminiferengattung Eozoon, deren Reste man in Kalksteineinlagerungen noch älterer krystallinischer Schiefer entdeckt zu haben glaubt, sind in den cambrischen Thonschiefern und Kalksteinen noch keine Exemplare aufgefunden worden.

Weit reichhaltiger ist nun schon die Flora, und besonders die Meeresfauna der **Silurzeit**. Dahin gehören z. B. die Fig. 1 abgebildeten sehr charakteristischen Graptolithen, von denen es eine Zeit lang zweifelhaft blieb, ob sie zu den Fucoideen oder nur zu den Cephalopoden gehörten, während sie gegenwärtig mit großer Sicherheit zu den Foraminiferen gerechnet werden. In silurischen Ablagerungen kommen schon ziemlich häufig Orthoceratiten, Korallen, Meeresmuscheln und Trilobiten vor, von denen unsere Tafel jedoch vorherrschend einige Repräsentanten aus der etwas neuern Devonzeit enthält. In den russischen Ostseeprovinzen hat man in silurischen Thonablagerungen auch bereits viele deutliche Fischzähne gefunden, noch nirgends aber bis jetzt die Reste höher stehender Wirbelthiere.

Die **Devonzeit** hat nicht nur mehr, sondern darunter auch höher organisirte fossile Thierreste geliefert, welche den Hauptinhalt von Taf. 7 bilden. Hierzu gehören die folgenden als ziemlich charakteristische Formen:

A. Einige sehr eigenthümliche, und von lebenden stark abweichende Fische, die zum Theil von einem festen Panzer umhüllt waren, wie Fig. 20, 31, 35 und 36. Von Fig. 11 und 32 wird später die Rede sein, da diese Fische der weit jüngern Dyasperiode angehörten, und hier nur aus räumlichen Gründen abgebildet wurden.

B. Trilobiten, Fig. 4, 22, 33 und 34; das sind Crustaceen, welche jedoch von allen jetzt lebenden krebsartigen Thieren sehr verschieden waren. Sie scheinen die Meere der Grauwackenperiode in großer Zahl und Mannichfaltigkeit bewohnt zu haben, dann aber sehr bald ausgestorben zu sein. Aus der Silurzeit kennt man gegen 500 Species, aus der Devonzeit schon weniger, und in den Ablagerungen der Kohlenperiode werden nur noch vereinzelte gefunden.

C. Die Ordnung der Cephalopoden war in der Grauwackenperiode namentlich durch die Geschlechter Orthoceratites, Fig. 21, Phragmocerus, Fig. 13, Goniatites, Fig .2, und Clymenia, Fig. 25, vertreten, während es damals noch gar keine echten Ammoniten und noch weniger Belemniten gegeben zu haben scheint.

D. Brachiopoden, zu denen auch die bis in die lebende Schöpfung hineinreichenden Terebrateln gehören, waren ungemein häufig und mannichfaltig, und darunter viele später ganz ausgestorbene Geschlechter, wie Pentamerus, Fig. 10, Calceola, Fig. 12, Spirifer Fig. 15 und 17; während die Gattungen Leptaena, Fig. 3, Productus, Fig. 8, und Chonetes, Fig. 19, häufiger in den Ablagerungen der Kohlen- und Dyasperiode als in denen der Grauwackenperiode gefunden wurden.

E. Von zweischaligen Muscheln enthält Taf. 7 nur ein Beispiel, Fig. 29, obwol dieselben keineswegs zu den Seltenheiten gehören.

F. Einschalige Weichthiere (Meeresschnecken), sind in den Ablagerungen der Grauwackenperiode ziemlich häufig; darunter z. B. die Genera Murchisonia, Fig. 5, Euomphalus, Fig. 9, und Bellerophon, Fig. 18.

G. Die Ordnung der Strahlthiere war besonders durch Crinoideen wie Pentatremites, Fig. 16, Melocrinus, Fig. 30, Cupressocrinus, Fig. 7, und Hypanthocrinus, Fig. 26, stark vertreten.

H. Ganz außerordentlich zahl- und formenreich war die Klasse der Zoophyten (Schwämme und Korallen). Dazu gehören auf unserer Tafel: Fig. 23, Catenipora labyrinthica, welche nur aus silurischen Ablagerungen bekannt ist; Fig. 24, Cyathophyllum flexuosum, sehr charakteristisch für devonische Schichten; Fig. 27, Receptaculites Neptuni, und Fig. 28, Calamopora polymorpha.

Schließlich sind nur noch einige auf Taf. 7 abgebildete Versteinerungen der Dyasperiode zu besprechen, die nur des Raums wegen hier aufgenommen wurden. Es sind die folgenden:

Fig. 8, Productus aculeatus, eine für die Zechsteinformation als obere Abtheilung der Dyas sehr charakteristische Brachiopoden-Species. Fig. 11 und 32, zwei Meeresfische, deren Abdrücke man ungemein häufig in dem sogenannten Kupferschiefer findet, und welche durch ihren unsymmetrischen (heterocerken) Schwanzflossenbau von allen jetzt lebenden Fischen besonders stark abweichen. Ferner Fig. 37 und 38, die Querschnitte zweier verkieselter Farrnstämme aus dem Rothliegenden, welches die untere Abtheilung des Dyas bildet.

Vulkane.

(Tafel 8.)

Die **Vulkane** werden häufig, aber mit Unrecht, feuerspeiende Berge genannt, denn in Wirklichkeit treten bei ihrer normalen Thätigkeit aus ihnen keine Flammen, überhaupt kein Feuer im gewöhnlichen Wortsinn hervor, wie denn überhaupt Feuer — Verbrennung mit Flammen — im Erdinnern, aus dem ihre Wirkungen hervorgehen, etwas Undenkbares, eine naturhistorische Unmöglichkeit ist. Alexander von Humboldt hat die vulkanische Thätigkeit überhaupt zuerst sehr passend definirt als eine Reaction des heißflüssigen Erdinnern — nicht etwa Centralfeuers — auf die feste Erdkruste und deren Oberfläche. Nur als Nebenerscheinung kommt es zuweilen vor, daß unter andern auch brennbare Gasarten aus vulkanischen Spalten ausströmen, und nach ihrer zufälligen Entzündung wirkliche Flammen bilden, die aber durchaus nicht als nothwendig mit vulkanischen Eruptionen überhaupt verbunden sind.

Wenn auch die localen und zeitlichen Veranlassungen der Entstehung von neuen Vulkanen wie der Eruptionen vorhandener, noch in großes Dunkel gehüllt sind, so steht doch so viel fest, daß alle vulkanischen Berge, welche in der Regel eine ziemlich kegelförmige Gestalt zeigen, fast ausschließlich durch das Material solcher Eruptionen aufgebaut sind, indem um eine, mit dem Erdinnern in Verbindung stehende Oeffnung — um einen Krater — herum sich nach und nach allseitig ausgeworfene Schlacken und übergeflossene Lavaströme aufhäuften und in dieser Weise immer höhere sogenannte Eruptionskegel bildeten.

Nun zeigen aber manche Vulkane einen, den eigentlichen Eruptionskegel und Krater concentrisch umgebenden, mehr oder weniger vollständigen und hohen, ringförmigen Bergwall, wie z. B. der Vesuv die Somma, und diese äußern Ringwälle hat man infolge einer besondern Erklärungshypothese **Erhebungskegel** und **Krater** genannt, in der Voraussetzung, dieselben seien nicht wie die echten Eruptionskegel durch Ueberfließen von Lava und Aufschüttung ausgeschleuderten Materials, sondern vielmehr durch der Eruption vorhergehende, gleichsam blasenförmige Erhebung oder Aufschwellung und centrale Berstung des Bodens entstanden. Solche sogenannte Erhebungskrater sind Taf. 8, Fig. 2a im idealen Querdurchschnitt, und Fig. 3 und 5 in äußerer Ansicht dargestellt.

Durch die sorgfältigen Untersuchungen von Lyell, Junghuhn, Hartung u. s. w. ist erwiesen worden, daß diese sogenannten Erhebungskrater (die äußern Ringwälle vieler Vulkane) in Wirklichkeit nur die Ueberreste der Einstürzung früher größerer und höherer Eruptionskegel sind, nicht aber die Folgen einer besondern, den Eruptionen vorhergehenden localen Bodenerhebung und Aufberstung.

Der ideale Querschnitt eines Vulkans, Fig. 2, zeigt uns unter a a den Rest eines früher viel höhern, dann aber in unterirdische Aushöhlungen eingestürzten Eruptionskegels, in dessen Centrum sich um den zu neuer Eruption gelangten Kraterschlund d herum ein neuer Eruptionskegel b aus Schlacken und Lavaschichten aufgebaut hat, der nun von den Resten eines früher sogenannten Erhebungskraters, eigentlich aber zum Theil eingestürzten alten Eruptionskegels concentrisch umgeben ist, wie der Vesuv, Fig. 5, von der Somma. Dieser innere neuere Eruptionskegel besitzt natürlich auch seinen besondern neuen Krater c, welcher durch den Schlund d mit dem Erdinnern in Verbindung steht. Die schwarzen Streifen im Querschnitt des neuen Eruptionskegels stellen Lavaergießungen zwischen den aufgeschichteten Anhäufungen von ausgeschleudertem lockern Material l dar, während mit dem Schlund d auch einige Seitenspalten in Verbindung stehen, die ebenfalls mit heißflüssiger Lava erfüllt wurden.

Fig. 4 in der untern rechten Ecke der Tafel stellt einen Einblick in den Krater eines 1831 bei Sicilien aus dem Meere hervortretenden, später aber wieder verschwundenen neuen Inselvulkans dar. In einem Theile der zuerst ausgegebenen Exemplare sind in der Unterschrift Fig. 3 und 4 verwechselt worden; Fig. 3 ist die Ansicht der vulkanischen Barreninsel mit einem ausgezeichnet schönen sogenannten Erhebungskrater.

Fig. 1 gibt eine Uebersicht von der räumlichen Vertheilung der auf der Erde bisjetzt bekannten thätigen Vulkane; da deren Zahl mehrere Tausende beträgt, so war es natürlich ganz unmöglich, alle einzelnen auf einer so kleinen Karte anzugeben. Es wurden deshalb nur die wichtigern und bekanntesten Eruptionsstellen durch schwarze Punkte bezeichnet, diese aber durch rothe Färbung derart untereinander verbunden, daß durch diese rothen Farbenfelder und Streifen die vulkanischen Gegenden der Erdoberfläche bezeichnet werden. Schon der erste prüfende Blick auf

bilden dann die sogenannte Krone. Im hohen Norden erscheint das Nordlicht oft als ein langes Strahlenband (Fig. 11,), welches sich windet und biegt, wie eine vom Winde bewegte Fahne. — Aehnliche Erscheinungen sind von den Seefahrern in den Polargegenden der südlichen Hemisphären beobachtet worden; man kann sie Südlichter nennen und das Phänomen der beiden Hemisphären unter dem Namen des Polarlichts zusammenfassen.

Der Umstand, daß die Polarlichter stets in der Richtung des magnetischen Meridians gesehen werden und daß ihr Erscheinen von einem starken Schwanken der Declinationsnadel begleitet ist, beweist, daß sie mit dem Erdmagnetismus in Beziehung stehen, weshalb sie Humboldt als magnetische Gewitter bezeichnet hat.

Die Polarlichter rühren offenbar von einer in der Nähe der magnetischen Pole durch die höhern verdünnten Luftregionen hindurch stattfindenden elektrischen Ausströmung her.

---

auch angenagte Knochen der von ihnen eingeschleppten Beutelthiere, sowie selbst massenhafte Anhäufungen ihrer Excremente (Koprolithen) vor, welche zum Theil sogar als Dünger benutzt werden können.

Fig. 3 stellt eine ziemlich gewöhnliche Höhlenbildung im Quadersandstein der Sächsischen Schweiz dar, wie sie dort an Felswänden theils durch vom Wind heftig angewehten Regen, theils auch durch vorüberfließende Gewässer ausgenagt werden.

Quellen.

Alle Quellen erhalten ihre Zuflüsse ursprünglich durch atmosphärische Niederschläge, welche bis zu einem gewissen Grade in die feste Erdkruste eindringen, sich unter verschiedenen Umständen in verschiedenen Tiefen sammeln und dann irgendeinen geeigneten Ausweg zur Oberfläche finden. Bei der überwiegenden Mehrzahl der gewöhnlichen Quellen sickert das eingedrungene Wasser der atmosphärischen Niederschläge nur in der äußern, wenige Fuß dicken, lockern Bodenkrume und auf der Oberfläche ihrer festern Unterlage zusammen und tritt dann an dazu geeigneten Stellen in Form von Quellen hervor. Solche Quellen zeigen in der Regel ziemlich genau die mittlere Temperatur der Gegend und enthalten nur wenig, für den Geschmack kaum bemerkbare mineralische Bestandtheile. Ihr Wasserreichthum pflegt mit der Fülle der atmosphärischen Niederschläge zu steigen und zu fallen. Bei andern Quellen aber sammelt sich das Wasser erst in größerer Tiefe auf der obern Grenze irgendeines weniger durchlässigen Gesteins, und dringt an irgendeiner Stelle hervor, wo diese Grenze die Oberfläche erreicht. Solche Quellen sind in der Regel etwas weniger abhängig von den temporären Schwankungen der atmosphärischen Niederschläge; sie zeigen der Tiefe ihres Ursprungs entsprechend eine etwas höhere als die mittlere Oberflächentemperatur der Gegend, und enthalten zuweilen auch etwas mehr mineralische Bestandtheile als gewöhnliche Quellen. Unter diesen Umständen läßt sich aber natürlich keine ganz scharfe Grenze zwischen **gewöhnlichen**, **warmen** oder **heißen** und **mineralischen** Quellen ziehen; man rechnet vielmehr zu diesen letztern alle diejenigen, welche sich durch ihre Temperatur oder durch ihren Geschmack und ihre Wirkungen auf den menschlichen Organismus auffallend von den gewöhnlichen Quellen unterscheiden. Außer den bisher besprochenen Quellen gibt es nun aber auch noch solche, welche sich durch die abnorme Art ihres Hervortretens oder durch eine von äußern Verhältnissen ganz unabhängige Periodicität ihres Fließens auszeichnen. Dahin gehören z. B. die natürlichen oder künstlich erbohrten **Springquellen**, welche letztern man auch wol **artesische Brunnen** zu nennen pflegt, sowie die sogenannten **Geyser**, welche auf Taf. 9 durch Fig. 4 bis 7 zu erläutern versucht worden sind.

Die Benennung **Geyser** (Geisir) ist isländischen Ursprungs, und bezieht sich ursprünglich nur auf die in der Nachbarschaft des Hekla entspringenden heißen periodischen Quellen, welche durch ihren starken Kieselsäuregehalt regelmäßige, aus Kieseltuff und Sinter bestehende Kegel aufbauten, aus deren kraterförmigem Becken sie in Perioden von 24—48 Stunden mit großer Energie hervorspringen und bei einzelnen ihrer Eruptionen den siedend heißen mächtigen Wasserstrahl 60 bis 80 Fuß hoch aufschleudern, während sie in der ruhigen Zwischenzeit weit unter das Niveau ihres Beckens zurücksinken. Eine genauere Beschreibung der Vorgänge bei diesen Eruptionen findet sich weiter unten in dem Abschnitt „Meteorologie" von Prof. Müller in Freiburg, welchem es sogar gelungen ist, einen recht einfachen Apparat herzustellen, in welchem man den Hauptvorgang leicht künstlich nachahmen kann.

Auch in zwei andern von Island weit entfernten Erdgegenden, auf Neuseeland und im nördlichen Amerika, hat man analoge heiße periodische Quellen aufgefunden. Die Geyser Neuseelands beschrieb zuerst von Hochstetter in dem Prachtwerk über die Reise der Novara, welchem auch die Abbildungen Fig. 4 und 7 entlehnt sind. Das große Geysergebiet am Yellowstone- und Maidsonriver in Nordamerika wurde dagegen von Haydn 1872 in Petermann's geographischen „Mittheilungen" zuerst ausführlich geschildert.

Taf. 9, Fig. 5 und 6 erläutern durch zwei ideale Darstellungen das Wesen und die Entstehung der sogenannten artesischen Springquellen, deren Wasser mit einem gewissen hydrostatischen Druck zu Tage tritt. Alle diese Bohrbrunnen, welche ihren Namen nach der Provinz Artois in Frankreich erhalten haben, beruhen darauf, daß das von der Oberfläche in das Erdinnere eindringende Wasser einen abgeschlossenen Weg in große Tiefen findet, in diesen aber durch ein Bohrloch erreicht wird, aus dem es mit dem Druck entsprechender Gewalt hervorspringt. Dieser abgeschlossene unterirdische Weg kann durch sehr verschiedene Umstände bedingt sein. Bei Fig. 5 ist angenommen, daß ein für Wasser schwer oder gar nicht durchdringbares Gestein a von den Schichten eines an sich für Wasser ebenfalls unzugänglichen Gesteins b überlagert sei, zwischen denen sich jedoch eine besondere Schicht c befindet, die entweder von zusammenhängenden Hohlräumen durchzogen oder auf irgendeine andere Weise für Wasser leicht durchdringbar sei. In diese Schicht dringt nun das Wasser von oben ein, staut sich aber an der Grenze von d, und könnte nicht heraus, wenn nicht ein Bohrloch von q aus diese Schicht erreicht und so die Springquelle q veranlaßt hätte, welche unter Umständen beinahe so hoch aufspringen kann, als die Region liegt, in welcher c die Oberfläche erreicht.

Bei Fig. 6 ist dagegen der Querschnitt eines rings abgeschlossenen Beckens dargestellt, von muldenförmig gelagerten Schichten erfüllt, welche zum Theil wie b für Wasser undurchdringlich sind, während dagegen die dazwischenliegenden Schichten c, sowie die obere Grenze des undurchdringlichen Gesteinbodens a für Wasser leicht durchdringbar sind. Auf die Beschaffenheit der obersten Schicht a kommt dabei nichts an. In diesem Falle staut sich das von den Beckenrändern eindringende Sickerwasser in der Tiefe des Beckens an und kann durch Bohrlöcher an verschiedenen Stellen und verschiedenen Tiefen erreicht werden, sodaß es dann die Springquellen q, q, q bildet.

Erdoberflächengestaltung.

(Tafel 10.)

Berg- und Felsformen.

Die Formen der Erdoberflächengestaltung sind Folgen der Entstehung wie der Zerstörung der verschiedenen Gesteinsarten. Die Entstehungsart hat einen ganz überwiegenden Einfluß auf die Gestalt der vulkanischen Berge, welche infolge davon sich sehr häufig kegelförmig aufgebaut zeigen, weil das Material, aus dem sie bestehen, sich von einer bestimmten Eruptionsöffnung aus mehr oder weniger gleichmäßig

um dieselbe herum aufgehäuft hat. Nur selten aber ist die ursprüngliche Bildungsgestalt der Vulkane vollständig erhalten; in der Regel haben vielmehr spätere Einstürzungen und Abspülungen allerlei Modificationen daran hervorgebracht, wie wir bereits in dem Abschnitt über Vulkane gesehen haben. Auch die Lage, Richtung und Erhebung der Gebirge ist vorherrschend ein Resultat ihrer Erhebung durch vulkanische Thätigkeit, aber ihre gegenwärtige äußere Form ist doch in der Regel noch mehr das Resultat späterer Wasserwirkung, als ihrer ersten Erhebung, und dasselbe gilt für jeden einzelnen Berg, wie für jedes einzelne Thal, obwol auch sie nicht selten ursprünglich durch locale Erhebung oder Aufberstung veranlaßt worden sind.

Die Figuren auf Taf. 10 zeigen ganz wesentlich nur Resultate der Wasserwirkung, welche durch die besondere Beschaffenheit der Gesteine, durch die Art ihrer Lage, Zusammensetzung, Zerklüftung und Verwitterung vielfach modificirt wurden.

Fig. 1 stellt eine an der Küste Schottlands bei Hempriggs durch das Meer ausgespülte natürliche Felsbrücke dar.

Fig. 2 zeigt uns eine prachtvolle Meeresbucht auf Neuseeland. Die beiden aus säulenförmig abgesondertem Basalt bestehenden Felsinseln, welche sich im Eingange der Bucht erheben, standen offenbar einst unter sich und mit der benachbarten, ganz gleich zusammengesetzten Felsküste in ununterbrochener Verbindung, und erst die seit Jahrtausenden unausgesetzt darauf einstürmenden Wogen des Oceans haben diesen Zusammenhang unterbrochen und diese schöne Bucht in das Felsenufer eingenagt, wobei sie offenbar durch die senkrecht säulenförmige Zerklüftung des Basaltes unterstützt wurden.

Fig. 3 zeigt uns eine der sonderbaren schroffen Felsformen, welche sich in der sogenannten Sächsischen Schweiz mit unzähligen kleinen Modificationen zu Tausenden wiederholen. Dieses Felsgebiet besteht auf beiden Seiten der Elbe aus horizontalen Sandsteinschichten, die vielfach von verticalen Klüften durchzogen sind; diese beiderlei Zerklüftungen beherrschen infolge davon auch alle Ausspülungen des Wassers, und so ist es geschehen, daß alle Felsen sich mehr oder weniger der senkrechten Form mit horizontalen Absätzen, Terrassen und Schichtmarken nähern, während man kaum irgendwo Spuren einer vorhergegangenen Aufrichtung der horizontalen Sandsteinschichten findet, die zu beiden Seiten der senkrecht eingeschnittenen Thäler ganz gleichmäßig fortsetzen.

Bei Fig. 5 hat derselbe Sandstein allerdings einige Abweichungen der Formen veranlaßt, dadurch daß der Regen, vom Winde auf die nackte Felsoberfläche angepeitscht, diese je nach der größern oder geringern Festigkeit oder selbst Auflöslichkeit des Sandsteinbindemittels mehr oder weniger stark angriff und abnagte, wodurch zuweilen sehr eigenthümliche Felsformen veranlaßt wurden.

Die Fig. 4 und 6 zeigen nun noch sehr eigenthümliche Oberflächengestaltungen, welche theils durch niederfallendes und ablaufendes Regenwasser, theils durch fließende Gewässer hervorgebracht werden und welche sich in ähnlicher Form auch bei den sogenannten Gletschertischen durch Wirkung der Sonnenstrahlen ergeben.

Bei Fig. 4 bestand vor der Erosion der Boden aus einer untern, ziemlich mürben, und aus einer obern, dünnern, aber weit festern Sandsteinschicht. Das Wasser spülte nun vorzugsweise die mürbe Schicht fort und rundete ihre stehen bleibenden Reste in eigenthümlicher Weise ab, während die obere festere Deckenschicht bessern Widerstand leistete und sich deshalb in Form von etwas vorspringenden Platten oder Deckeln erhielt.

Bei Fig. 6 hat dagegen ein Fluß mit zahlreichen, in fast gleichen Abständen einmündenden Seitenbächen das Thal mit seinen Seitenschluchten in eine feste Gesteinsmasse fast senkrecht eingeschnitten, während die obere Gesteinsplatte von mürberer Beschaffenheit kegelförmige Aufsätze auf den senkrechten Felspfeilern bildete.

Innerer Bau der festen Erdkruste und der Gebirge.

(Tafel 11.)

Wenn auch der innere Bau der festen Erdkruste nur an einzelnen Stellen deutlich beobachtet werden kann, während sogar über drei Viertel der gesammten Oberfläche unsers Planeten durch Meeresbedeckung und andere Hemmnisse jeder geologischen Beobachtung unzugänglich sind, so liegen doch die deutlich beobachtbaren Stellen so glücklich vertheilt und zeigen so vielfache Analogie und Verbindung durch Zwischenglieder, daß man sehr wohl berechtigt ist, sich daraus ein ideales Bild von der allgemeinen Zusammensetzung der festen Erdkruste aus Gesteinen zu entwerfen, wie Tafel 11, Fig. 1 zeigt. In dieser Figur, wie überhaupt auf dieser Tafel, sind sämmtliche Gesteine, welche einen wesentlichen Antheil an der Zusammensetzung der Erdkruste nehmen, durch vier Farben nach ihrer wahrscheinlichen oder sichern Entstehungsweise in ebenso viele Hauptabtheilungen getrennt, nämlich:

1) Roth: plutonische Erstarrungsgesteine, welche durch Erstarrung aus einem ursprünglich heißflüssigen Zustande unter mehr oder weniger starker Bedeckung im Erdinnern hervorgegangen sind.

2) Gelb: vulkanische Erstarrungsgesteine, welche, wie noch jetzt die Laven, durch Abkühlung und Erstarrung aus gleichem heißflüssigen Zustande, aber nicht in der Tiefe, sondern an der Erdoberfläche, oder doch jedenfalls nahe derselben, unter verhältnißmäßig nur geringer Bedeckung entstanden.

3) Violett: krystallinische Schiefer, welche nur theilweise, vielleicht als erste Erstarrungsproducte der einst in ihrer Gesammtheit heißflüssigen Erdmasse, größtentheils vielmehr sicher als durch Umwandlung aus sedimentären Ablagerungen entstanden anzusehen sind, und deshalb oft metamorphische Schiefergesteine genannt werden.

4) Blau: alle deutlich als solche erkennbaren sedimentären Ablagerungen.

Es dürfte zweckmäßig sein, diese vier Abtheilungen etwas specieller ins Auge zu fassen.

Die krystallinischen Schiefer, bestehend aus Gneis, Glimmerschiefer, Thonglimmerschiefer, Chloritschiefer, Talkschiefer, Hornblendeschiefer u. s. w. mit untergeordneten Einlagerungen von Quarz, Kalkstein, Eisenstein u. s. w., nehmen ihre normale Stellung in der festen Erdkruste unter den deutlich sedimentären und über den Erstarrungsgesteinen ein, zu welchen letztern sie theilweise sogar selbst gehören mögen, während sie häufig von eruptiven Erstarrungsgesteinen durchsetzt, theilweise sogar in Form großer Schollen umhüllt sind.

Die plutonischen Eruptivgesteine zeigen etwas ungleiche mineralogische und chemische Zusammen-

setzung als Granite, Syenite, Grünsteine und Porphyre, welche jedoch unabhängig von dem geologischen Zeitraum ihrer Entstehung zu sein scheint.

Alle beobachtbaren plutonischen Eruptivgesteine gehören nothwendig irgendeiner frühern geologischen Periode an, denn wenn auch solche, wie es wahrscheinlich ist, noch gegenwärtig entstehen sollten, so müßten sie infolge ihrer tief unterirdischen Erstarrung nothwendig so lange unbeobachtbar sein, bis sie durch lange dauernde Hebung und Abspülung irgendwo der directen Beobachtung zugänglich würden; daß sie aber unter sich von sehr ungleichem Alter sind, ergibt sich aus ihren gegenseitigen Durchsetzungen, sowie durch ihr ungleiches Ausdringen in Zerspaltungen der sedimentären Ablagerungen, zuweilen bis zu denen der Kreideperiode aufwärts, aber niemals bis in die neuesten Ablagerungen hinein.

Die vulkanischen Eruptivgesteine dagegen, welche als Laven thätiger Vulkane, an der Erdoberfläche, oder nahe derselben zur Erstarrung gelangten, haben vielfach nicht nur alle plutonischen Eruptivgesteine und krystallinischen Schiefer, sondern auch alle sedimentären Ablagerungen bis zu den neuesten durchsetzt. Man kann sie zuweilen unmittelbar nach ihrer Entstehung als basaltische oder trachytische Laven beobachten, während die etwas ältern als echte Basalte, Trachyte oder Phonolithe sich ihrer Natur nach schon mehr den plutonischen Gesteinen anschließen.

Die sedimentären Gesteine, welche man je nach ihrem ungleichen Alter verschiedenen geologischen Formationen oder Bildungsperioden zuzurechnen pflegt, sind petrographisch sehr ungleich zusammengesetzt; sie bestehen aus zuweilen miteinander wechsellagernden Schichten von Thon, Schieferthon, Thonschiefer, Kalkstein, Dolomit, Mergel, Sandstein, Conglomerat, Kohlen, Eisenstein, Quarz u. dgl. Die meisten derselben enthalten erkennbare organische Reste, sogenannte Versteinerungen, welche den geologischen Zeiträumen entsprechen, in welchen sie zur Ablagerung gelangten. Es ist üblich, die aufeinanderfolgenden Ablagerungen je nach ihrer zeitlichen, räumlichen oder sächlichen Uebereinstimmung in gewisse Formationen zu vereinigen, und diese wiederum der Zeit nach gewissen geologischen Perioden zuzurechnen. Taf. 11, Fig. 1 ist ein großer Theil dieser Formationen nach ihrer normalen Lagerung übereinander gezeichnet, doch muß hierzu bemerkt werden, daß man an keinem Orte der Erde eine ganz vollständige Reihenfolge aller bisjetzt bekannt gewordenen Formationen wirklich übereinanderliegend findet, und daß daher auch Fig. 1 nur ein ideales Bild ist, welches aus der schematischen Vereinigung zahlreicher, zum Theil an sehr weit voneinander entfernten Orten gemachten einzelnen Beobachtungen zusammengestellt worden ist. Auf der linken Seite unserer Figur ist nur eine sehr lückenhafte Formationenreihe dargestellt, auf der rechten dagegen eine ziemlich vollständige, wie man sie kaum irgendwo wirklich vorfinden dürfte; aber auch diese Reihe ist jedenfalls keine ganz vollständige, da man mit der Zeit immer mehr in gewissem Grade selbständige Formationen auffinden wird, welche dann die bisjetzt bekannte Reihe ergänzen.

Die Reihenfolge der sedimentären Formationen ist, von oben nach unten, also von den neuesten zu den immer ältern, und folglich zu den normal tiefer liegenden vorschreitend, die folgende:

1) Recente Ablagerungen, wie sie noch jetzt auf dem Meeresboden, in Landseen, in Sümpfen, an Quellen, Flüssen u. s. w. stattfinden; bestehend aus Sand, Geröllen, Thon-, Mergel- oder Kalkschlamm, Korallenfels, Kalktuff, Kieseltuff, Raseneisenstein, Torf u. s. w.

2) Diluviale oder quartäre Ablagerung, aus einer der Gegenwart nicht lange vorhergehenden Zeit herrührend, in welcher viele Tiefländer, wie z. B. die norddeutsche Niederung, noch vom Meere bedeckt waren; bestehend aus Sand und Geröllen, sogenannten erratischen Blöcken, Löß u. dgl., mit organischen Resten, welche schon etwas von den Organismen der Jetztwelt abweichen.

3) Tertiäre Ablagerungen, die man nach ihrem ungleichen Alter wieder eintheilt in pliocäne, miocäne und eocäne (die beiden erstern werden zuweilen auch als neogen zusammengefaßt); bestehend aus wechselnden Schichten von Sandstein, Conglomerat, Mergel, Kalkstein, Thon und Schieferthon, zuweilen mit Einlagerungen von Braunkohlen, Eisenstein, Gips und Steinsalz. Die Organismen dieser Periode, deren Reste man versteinert findet, gehörten zum Theil schon ganz andern Species an, als die jetzt lebenden.

4) Ablagerungen der Kreideperiode, welche man in Deutschland von oben nach unten zu unterscheiden pflegt in: Weiße Kreide, Quadersandstein und Pläner, Hilsformation oder Neocom, Deisterformation, dem englischen Wielden. Die Versteinerungen, welche darin gefunden werden, weichen sämmtlich von den jetzt lebenden Species ab, und gehören zum Theil schon ganz ausgestorbenen Geschlechtern an.

5) Ablagerungen der Juraperiode. Man theilt sie in Deutschland in obern weißen, mittlern oder braunen und untern oder schwarzen Jura, welcher letztere in England Lias genannt wird; die Gesteine, aus denen diese Schichten bestehen, sind namentlich Kalkstein und Dolomit, Mergel, bituminöser Mergelschiefer und Sandstein, zuweilen mit Einlagerung von Eisenstein und Kohle. Unter den Versteinerungen herrschen die ganz ausgestorbenen Geschlechter der Ammoniten, Belemniten und Fischsaurier sehr vor.

6) Ablagerungen der Triasperiode. In Deutschland theilt man sie in die drei Formationen: Keuper, Muschelkalk und Buntsandstein. Vorherrschend aus Mergel, Kalkstein, Dolomit, Thon, Schieferthon und Sandstein bestehend, enthalten dieselben auch Einlagerungen von Gips und Steinsalz, Eisenstein und Kohle; im Alpengebiet ist ihre petrographische Zusammensetzung und Gliederung eine ganz andere. Als charakteristische Versteinerungen treten darin namentlich Ceratiten, Encriniten und große Sumpfreptilien auf.

7) Ablagerungen der Dyasperiode (in Rußland Permformation), in Deutschland bestehend aus Zechsteinformation und Rothliegendem; die erstere, vorherrschend aus Kalkstein, Dolomit und bituminösem Mergelschiefer zusammengesetzt, enthält als wichtige Einlagerungen Steinsalz, Gips und Kupferschiefer. Unter den Versteinerungen dieser Periode sind namentlich einige dickschuppige und unsymmetrisch geschwänzte Seefische und das Brachiopodengeschlecht Productus sehr charakteristisch. Das Rothliegende dagegen besteht vorherrschend aus rothen Conglomeraten und Sandsteinen mit eisenreichem, thonigem Bindemittel; darin treten local viele Pflanzenreste auf, welche gänzlich ausgestorbenen Geschlechtern angehören.

8) Ablagerungen der Kohlenperiode; man unterscheidet dieselben in Steinkohlenformation und Kulmformation oder Kohlenkalkstein. Die erstere besteht vorherrschend aus einer vielfachen Wechsellagerung von grauem Sandstein und Schieferthon mit untergeordneten Zwischenlagen von Steinkohlen und Thoneisenstein, die letztere dagegen aus Thonschiefer, Kieselschiefer, Sandstein und Kalkstein oder Dolomit, mit seltenern Einlagerungen von Steinkohle. Die charak-

teristischen Pflanzenreste dieser Periode wurden Taf. 2 zum Theil abgebildet. Der Kohlenkalkstein enthält aber auch viele Reste von Seethieren.

9) Ablagerungen der Grauwackenperiode, welche man einzutheilen pflegt in devonische, silurische und cambrische. Die vorherrschenden Gesteine sind Thonschiefer, Sandstein, Kalkstein und Dolomit, mit Zwischenlagen von Kieselschiefer, Quarzit, Alaunschiefer, Eisenstein u. s. w. Unter den Versteinerungen dieser Periode sind als besonders charakteristisch zu nennen die längst ausgestorbenen Trilobiten, Orthoceratiten, Goniatiten und Graptolithen, wovon auf Taf. 7 einige Beispiele abgebildet sind.

Unter den ältesten Ablagerungen der Grauwackenperiode folgen dann gewöhnlich, aber keineswegs überall, krystallinische Schiefer, welche entweder durch plutonische Umwandlung aus noch ältern Ablagerungen entstanden sind, oder zum Theil vielleicht als Reste der ersten Erdkrustenbildung durch Erstarrung angesehen werden können. Wo dieselben parallele Einlagerungen von krystallinisch-körnigem Kalkstein, Dolomit oder Graphit enthalten, da muß man sie jedenfalls als metamorphische Gesteinsbildungen bezeichnen.

Die schwarzen Linien, welche in der obern Region unserer Darstellung einen Theil der Gesteine und Formationen durchschneiden, repräsentiren Erzgänge, d. h. Spaltenausfüllungen, welche allerlei Erze und andere Mineralien enthalten und zuweilen mit Verschiebungen — sogenannten Verwerfungen — verbunden sind, die aber auf dem Bilde nicht wohl angebracht werden konnten.

Die Fig. 2 bis 11 dieser Tafel versuchen den innern Bau der Gebirge und einigermaßen auch dessen Beziehungen zur Oberflächengestaltung derselben darzustellen.

Alle Gebirge sind mehr oder weniger Folgen localer Erhebung der festen Erdkruste oder der Aufschüttung oder Ueberströmung durch vulkanische Thätigkeit; doch sind dadurch meist nur die Hauptformen bedingt, während spätere Verwitterung und Abspülung sehr wesentliche Veränderungen des ersten Zustandes hervorgebracht haben. Es dürfte zweckmäßig sein, diese der Wirklichkeit entnommenen, und nur mehr oder weniger idealisirten Beispiele einzeln zu besprechen.

Fig. 2 stellt den idealen Querschnitt eines Basaltgebirges dar, welches, wie die Rhön oder das böhmische Mittelgebirge, aus einzelnen Basaltbergen besteht, die nicht eine geschlossene Gebirgsmasse bilden, deren jeder vielmehr das Resultat einer selbständigen Eruption und Ueberströmung ist, ohne daß dabei die durchbrochenen krystallinischen Schiefer und sedimentären Schichten wesentlich erhoben oder aufgerichtet wurden. Ganz ähnlich verhält es sich bei den meisten thätigen Vulkanen.

Fig. 3 stellt ein durch einseitige Erhebung eines Erdkrustentheils entstandenes Gebirge, wie z. B. das sächsisch-böhmische Erzgebirge, im Querdurchschnitt dar. Die krystallinischen Schiefer und einige sie bedeckende sedimentäre Formationen wurden in diesem Falle durch plutonische Eruptivgesteine (Granite und Porphyre) einseitig gehoben, dergestalt, daß die erhobene Masse einen flach abgedachten und einen steilen Abhang zeigt. Irrthümlich haben die ersten Abdrücke dieser Figur für die weit später als die Granite emporgedrungenen Basalte rothen statt gelben Farbendruck erhalten.

Fig. 4. Ein durchaus idealer Querschnitt des Harzes, welcher nach Ablagerung der sedimentären Formationen bis inclusive Quadersandstein durch plutonische Eruptivgesteine, besonders Granite, als Centralmassengebirge um ein Hauptcentrum erhoben wurde. Doch ist dabei nicht nöthig, daß der Granit durch sein heißflüssiges Empordrängen die letzte Erhebung veranlaßt habe, vielmehr scheinen die granitischen Gesteine des Harzes alle älter zu sein als das miterhobene Rothliegende, und folglich viel älter als der Quadersandstein. Man muß vielmehr annehmen, sie haben bei ihrer Entstehung zwar auch schon eine locale Erhebung veranlaßt, dieser sind aber später mehrere andere Erhebungen desselben Gebiets ohne Durchbruch irgendeines beobachtbaren Eruptivgesteins gefolgt, wodurch die bereits vorhandenen Granite und alle Schichten bis zum Quadersandstein aufwärts mit erhoben wurden.

Fig. 5 stellt einen sehr besondern Fall des innern Erdbaues in einer Gebirgsgegend dar, nämlich eine theilweise Ueberstürzung und dadurch Umkehrung der ursprünglichen Lagerungsverhältnisse bei Hohnstein in der Sächsischen Schweiz. Hier findet man ganz gegen alle gewöhnliche Erfahrung und daraus abgeleitete Regel unter dem Granit Jurakalk mit deutlichen Versteinerungen in schräger Stellung, unter diesem aber Quadersandstein horizontal geschichtet, der jedenfalls neuerer Entstehung ist als der Jurakalk und Granit. Die genauere Untersuchung hat ergeben, daß hier höchst wahrscheinlich nach Ablagerung des Quadersandsteins ohne nachweisbare Veranlassung durch ein emporbringendes Eruptivgestein die ursprünglichen Lagerungsverhältnisse in der Weise umgestürzt und dabei die Juraschichten umgebogen worden sind, wie es die Abbildung darstellt, wobei nur zu verwundern ist, daß die benachbarten Sandsteinschichten horizontal blieben. Es sind aber derartige Fälle schon mehrfach beobachtet worden, wenn man sie auch noch nicht recht befriedigend zu erklären vermag.

Fig. 6 zeigt einen Fall merkwürdig aufgerichteter und gebogener Schichten aus dem Alpengebiete, wo derartige Störungen der ursprünglichen Lagerungsverhältnisse zu den ganz gewöhnlichen Thatsachen gehören und offenbar wesentlich zu den pittoresken Erscheinungen der ganzen Bergkette beigetragen haben.

Fig. 7. Ebenfalls ein Beispiel aus der Alpenkette, und zwar aus dem Centralgebiet derselben. Hier findet sich eine großartige Faltung und fächerförmige Stellung der krystallinischen Schiefer und der zunächst mit ihnen verbundenen, ursprünglich darübergelagerten sedimentären Schichten, während in der Mitte des Fächers Granite aus den krystallinischen Schiefern hervortreten. Diesen fächerförmigen Bau hat man durch eine, mittels punktirter Linien angedeutete, einst vorhanden gewesene großartige Schichtenfalte zu erklären versucht, deren oberer punktirter Theil später durch Verwitterung und Abspülung zerstört worden ist.

Fig. 8. Ein idealer Querschnitt des Riesengebirges, zeigt eine gewisse Aehnlichkeit mit dem des Harzes, um so wichtiger ist es deshalb, auf die wesentlichsten Unterschiede aufmerksam zu machen. Es sind das besonders folgende: Der Harz ist ein seiner Grundfläche nach fast elliptisches Massengebirge, das Riesengebirge dagegen ein in der Richtung von Nordwest nach Südost ausgedehntes Kettengebirge. Im Harz hat sich der centrale Granit zwischen die deutlich sedimentären Thonschiefer der Grauwackenperiode eingedrängt, die er nur in unmittelbarer Nähe etwas verändert, zum Theil in Hornfels umgewandelt hat; im Riesengebirge ist derselbe dagegen durch einen dicken Mantel krystallinischer Schiefer von den Schiefern

der Grauwackenperiode getrennt, und die sedimentären Formationen sind hier nur bis zum Zechstein aufwärts deutlich aufgerichtet, während z. B. der Quadersandstein deutlich horizotal auf- und angelagert ist, woraus hervorgeht, daß hier nach Ablagerung des Quadersandsteins keine Hebung der ganzen Gebirgsmasse mehr stattgefunden hat.

Fig. 9 zeigt ein ganz ausgezeichnetes Beispiel einer durch Faltung der früher horizontal gelagerten Formationen entstandenen Gebirgskette mit Längenthälern zwischen parallelen Rücken. Die ursprünglichen Schieferfalten sind hier theilweise später wieder abgeschwemmt, in der Zeichnung aber durch Punktirung restaurirt. Plutonische Eruptivgesteine treten nur einseitig hervor, aber ohne eine einseitige Aufrichtung bedingt zu haben. Die Schichten der Kreideperiode überdecken ungestört und ungefaltet diese einseitigen Eruptivgesteine.

Fig. 10, der Schwarzwald, und Fig. 11, der Odenwald, liegen in der geradlinigen Verlängerung einer gemeinsamen und durchaus analogen Erhebung, die nur im Schwarzwald in jeder Beziehung beträchtlicher war als im Odenwald. In beiden Gebirgen treten plutonische Eruptivgesteine, besonders Granite und krystallinische Schiefer, namentlich Gneis, als Kernmassen auf, theilweise um- und überlagert von sedimentären Formationen, deren Schichten gegen Osten nur ganz allmählich von dem plutonischen Kern abfallen, am westlichen Fuß dagegen zum Theil steil aufgerichtet sind. Die Erhebungsweise offenbar eine vorherrschend einseitige, sodaß gegen Osten das Vorhandene mit geringer Störung der horizontalen Schichtenstellung nur in ein etwas höheres Niveau erhoben wurde, während auf der Westseite, wo der Hauptbruch erfolgte, alle Schichten bis zu denen der Juraperiode steil aufgerichtet wurden. Diese Erhebung hat offenbar nach Ablagerung der Juraschichten, aber vor jener der Tertiärgebilde stattgefunden, welche in horizontaler Stellung verblieben. Ursache dieser Erhebung können unmöglich die in dieser Gegend beobachtbaren plutonischen Eruptivgesteine gewesen sein, denn sie sind sämmtlich älter als das Rothliegende, dessen Conglomerate zahlreiche Geschiebe dieser Gesteine erhalten; auch sind sie nirgends erkennbar in Zerspaltungen der gehobenen Schichten eingedrungen.

Geologische Karte von Deutschland.

(Tafel 12.)

Geologische Karten haben den Zweck, die Verbreitung der Gesteine und Formationen, aus denen die feste Erdkruste besteht, insoweit sich dieselbe an der Erdoberfläche erkennen läßt, darzustellen, worauf dann der geübte Geolog mehr oder weniger sichere Schlüsse auch über ihre unterirdische — also nicht unmittelbar beobachtbare — Verbreitung gründen kann, namentlich in den Fällen, in welchen die normale Reihenfolge ihrer Uebereinanderlagerung bekannt ist. Wieviel Details auf solchen Karten dargestellt werden können, hängt natürlich von der Größe ihres Maßstabes ab.

Auf der vorliegenden geologischen Karte von Deutschland mußten ihres sehr beschränkten Raums und deshalb kleinen Maßstabes wegen ganze Gruppen von Gesteinen und Formationen, die man auf größern Karten voneinander zu trennen pflegt, zusammengefaßt und durch gemeinsame Farbenfelder dargestellt werden. Die hier gebildeten Gruppen beruhen theils auf gemeinsamer Entstehungsart, theils auf gemeinsamer Periode der Entstehung, wobei natürlich besondere Bildungen von geringem Verbreitungsgebiet oft unberücksichtigt bleiben mußten, weil dadurch die Uebersichtlichkeit nutzlos beeinträchtigt worden wäre. Selbstverständlich mußte unter solchen Umständen hierbei mehr noch das individuelle Urtheil als ein ganz bestimmtes Princip zur Richtschnur dienen.

Ueber die auf der Karte zur Darstellung gebrachten Abtheilungen sei in absteigender Reihe — d. h. von den obersten, neuesten zu den untern, immer ältern, vorschreitend — Folgendes bemerkt:

1) Die weiß gelassenen Flächenräume bestehen aus ganz neuen, sogenannten quartären oder recenten und diluvialen Ablagerungen, wie Sand, Gerölle, Lehm, Löß, Torf u. dgl.

2) Durch Gelb sind alle tertiären Formationen bezeichnet, welche man ihrem Alter nach in pliocäne, miocäne und eocäne, oder neogene und paläogene trennt, während sie nach dem darin vorherrschenden oder charakteristischen Material in Braunkohlenformationen, Molasse- (Sandstein und Conglomerat) Formationen, Flysch, Nummulitenkalk, Süßwasser- und Meereskalk- oder Mergelablagerungen unterschieden werden können.

Blau überhaupt stellt die Verbreitung der secundären Formationen dar, und zwar sind 3) unter Dunkelblau zusammengefaßt: Kreide, Quadersandstein und Pläner, Hils oder Neokom (Sandstein, Mergel und Thon), Deistersandstein mit Steinkohlenlagern, weißer Jurakalk und Dolomit, brauner Jura (Sandstein, Thon und Mergel mit Eisensteinlagern) sowie schwarzer Jura oder Lias, vorherrschend aus dunkeln bituminösen Kalksteinen und Mergeln bestehend; 4) unter Hellblau dagegen: die sogenannte Trias, bestehend aus Keuper (Sandstein, Mergel und Gips), Muschelkalk mit Gips und Steinsalz, sowie Buntsandstein mit Schieferthon, Rogenstein, Gips und Steinsalz.

5) Dunkelbraun stellt die Verbreitung der so besonders wichtigen Steinkohlenformation dar, welche vorherrschend aus Sandstein und Schieferthon mit Schwarzkohleneinlagerungen besteht.

6) Gelblichroth umfaßt alle sogenannten Primärformationen, nämlich: a) die sogenannte Dyas, bestehend aus der Zechsteinformation, Kalkstein, Dolomit, Keuperschiefer, Gips und Steinsalz, und das Rothliegende, vorherrschend aus Sandsteinen und Conglomeraten bestehend, sowie alle devonischen, silurischen und cambrischen Ablagerungen, welche — in Deutschland auch Grauwacke genannt — vorherrschend aus mächtigen Wechsellagerungen von Thonschiefer und Sandstein mit untergeordneten Einlagerungen von Quarzit, Kieselschiefer, Alaunschiefer, Grünsteintuff und Kalkstein oder Dolomit bestehen.

7) Violett stellt die Verbreitung der krystallinischen Schiefer dar, zu denen namentlich Gneis, Glimmerschiefer, Thonschiefer, Talk- und Chloritschiefer, Hornblendeschiefer mit Einlagerungen von krystallinisch-körnigem Kalkstein (Marmor), Magneteisenstein u. dgl. gehören. Sehr wahrscheinlich sind diese Schiefer größtentheils durch Umwandlung aus ursprünglich sedimentären Ablagerungen entstanden.

8) Unter Plutonisch (blaßroth) sind alle diejenigen Eruptivgesteine zusammengefaßt, welche nicht wie die Laven an der Erdoberfläche, sondern in beträchtlicher Tiefe unter derselben zur Erstarrung gelangt zu sein scheinen, sodaß sie erst durch theilweise Abschwemmung ihrer Bedeckung beobachtbar werden

konnten; wir rechnen dahin besonders alle Granite und Syenite, wie Grünsteine, Quarzporphyre, Porphyrite und Mandelsteine (zum Theil sogenannte Melaphyre).

9) Dunkelroth endlich bezeichnet die in der Regel nicht zusammenhängende Verbreitung der, wie die Laven der Vulkane an der Erdoberfläche zur Erstarrung gelangten und deshalb vulkanisch genannten Gesteine, wie z. B. Basalt, Trachyt und Phonolith.

Man wird auf der Karte leicht erkennen, daß diese vulkanischen Gesteine besonders in einer vom Rhein bis zum Riesengebirge ausgedehnten Zone liegen, während sie dagegen dem Alpengebiet gänzlich fehlen.

Meteorologie.

Bearbeitet von Professor Dr. J. Müller.

(Tafel 13 bis 16.)

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Temperatur der untern Luftschichten.

Die Wärme der Erdoberfläche und der auf ihr ruhenden Atmosphäre rührt fast ausschließlich von den Sonnenstrahlen her, die Wärmeverhältnisse eines Ortes auf der Erdoberfläche hängen demnach zunächst davon ab, wie er von den Sonnenstrahlen getroffen wird. In dieser Beziehung unterscheidet man auf der Erdoberfläche fünf Zonen.

1) Die heiße Zone, derjenige zu beiden Seiten des Aequators liegende Gürtel, innerhalb dessen die Sonne das Zenith erreichen kann. Dieser Gürtel ist durch die beiden Wendekreise begrenzt, davon einer 23½ Grad nördlich, der andere aber ebenso weit südlich vom Aequator liegt. Zwischen den Wendekreisen ist Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch nahezu gleich lang.

2) Die beiden kalten Zonen, die Umgebung des Nordpols bis zum nördlichen, und die Umgebung des Südpols bis zum südlichen Polarkreis (23½ Grad vom entsprechenden Pol), innerhalb deren der längste Tag sowol wie die längste Nacht 24 Stunden (auf den Polarkreisen) bis zu einem halben Jahr (auf den Polen selbst) dauert, werden von den Sonnenstrahlen so schräg getroffen, daß hier keine erhebliche Erwärmung stattfinden kann.

3) Die beiden gemäßigten Zonen, welche auf der nördlichen und südlichen Hemisphäre zwischen dem Wendekreise und dem entsprechenden Polarkreise liegen. In den gemäßigten Zonen beträgt die Dauer des längsten Tags und die der längsten Nacht 13½ bis 24 Stunden.

Wäre die gesammte Erdoberfläche fest und gleichförmig eben, gäbe es weder Meer noch Luft, so hinge die Temperatur eines Ortes blos von seiner Entfernung vom Aequator ab. So aber wird die Wirkung der Sonnenstrahlen wesentlich durch Bodengestaltung und Wolken modificirt, durch Luft- und Meeresströmungen wird die Wärme von einem Orte zum andern übertragen, und so kommt es, daß Orte von gleicher geographischer Breite oft ein sehr verschiedenes Klima haben.

Da die klimatischen Verhältnisse eines Ortes durch sehr verschiedene, uns nicht hinlänglich bekannte Einflüsse modificirt werden, so ist es nicht möglich, sie auf rein theoretischem Wege abzuleiten, man kann sie nur durch die Erfahrung kennen lernen.

Wenn man von Mitternacht zu Mitternacht jede Stunde die Lufttemperatur beobachtet und aus diesen 24 Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des fraglichen Tags.

Die mittlere Tagestemperatur kann man aber auch erhalten, ohne Tag und Nacht von Stunde zu Stunde das Thermometer zu beobachten, wenn man das Maximum und das Minimum der Temperatur kennt, welches innerhalb 24 Stunden stattfand. Den höchsten und niedrigsten Thermometerstand der letzten 24 Stunden erhält man aber durch den Thermometrographen. Taf. 16, Fig. 1 stellt die bekannteste Form des Thermometrographen dar. Auf einem Bret ist ein Quecksilber- und ein Weingeistthermometer befestigt, deren Kugeln nach entgegengesetzten Seiten liegen. In der Röhre des Quecksilberthermometers befindet sich ein Stahlstäbchen, welches, wenn es auf der Quecksilbersäule aufsitzt, bei steigender Temperatur fortgeschoben wird, aber an der Stelle der höchsten Temperatur liegen bleibt, wenn sich das Quecksilber bei sinkender Temperatur wieder zurückzieht. In der Röhre des andern Thermometers befindet sich ein aus farbigem Glas verfertigtes Glasstäbchen, welches mit zwei Knöpfchen endet, deren Durchmesser noch etwas kleiner ist als der Durchmesser der Röhre. Befindet sich der eine Knopf des ganz im Weingeist steckenden Glasstäbchens ganz am Ende der Weingeistsäule, so wird es bei sinkender Temperatur durch Capillarität mit zurückgeführt. Beginnt dann aber die Temperatur wieder zu steigen, so bleibt das Stäbchen an der Stelle des Temperaturminimums liegen, indem der sich ausdehnende Weingeist an ihm vorbeigeht. Um das Instrument zur Beobachtung in Stand zu setzen, wird es nach der linken Seite geneigt, sodaß das Stahlstäbchen auf die Quecksilbersäule, das Glasstäbchen bis zum Ende der Weingeistsäule herabfällt, und dann wieder in seine horizontale Lage zurückgebracht. Hat man dies des Abends gethan, so kann man am nächsten Abend ablesen, welches in den letzten 24 Stunden der höchste und niederste Thermometerstand war. Das Mittel aus diesen beiden Temperaturen ist sehr nahe der mittlern Tagestemperatur gleich.

Das eben beschriebene Instrument kommt sehr leicht in Unordnung; viel zuverlässiger ist das Metallthermometer, Taf. 16, Fig. 2. Eine Spirale, aus einem zusammengelötheten Streifen von Stahl und Messing gebildet, ist in seiner Mitte befestigt. Bei wachsender Temperatur bewegt sich das freie Ende b der Spirale nach der linken, bei sinkender nach der rechten Seite. Hinter der Spirale befinden sich zwei mit gelinder Reibung bewegliche Zeiger, deren jeder einen bis zum freien Ende der Spirale hervorragenden Stift trägt. Der Stift p des Zeigers cd liegt links, der Stift q des Zeigers fg liegt rechts von b. Hat man die beiden Stifte mit dem Spiralende b in Berührung gebracht, so wird bei steigender Temperatur der Zeiger cd nach der linken Seite geschoben, um bei der Stelle der höchsten Temperatur liegen zu bleiben, wenn die Temperatur zu sinken beginnt. In gleicher Weise markirt der Zeiger fg die Minima der Temperatur.

Bestimmt man nun auf die eine oder die andere Weise die mittlere Temperatur für alle Tage eines Monats, nimmt man alsdann das Mittel aus den so erhaltenen 30 oder 31 Zahlen, so erhält man die mittlere Temperatur eines bestimmten Monats, während endlich das Mittel aus den 12 Monatsmitteln die mittlere Temperatur des ganzen Jahres liefert.

Hat man für einen bestimmten Ort die mittlere Temperatur mehrerer aufeinanderfolgender Jahre bestimmt, so findet man, daß diese Jahresmittel keineswegs ganz gleich sind. Nimmt man das Mittel aus einer möglichst großen Zahl von Jahresmitteln, so erhält man die mittlere Jahrestemperatur des Ortes. Diese ist zum Beispiel für London 8,3° R., für Berlin 7,2° R., für Petersburg 3,4° R., für Rom 12,7° R. u. s. w.

Vergleicht man die mittlere Jahrestemperatur verschiedener Orte miteinander, so findet man bald, daß Orte gleicher geographischer Breite keineswegs auch gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, daß also die Jahres-Isothermen, d. h. die Linien gleicher mittlerer Jahreswärme, keineswegs dem Aequator parallel sind.

Humboldt führte den Begriff der Isothermen in die Wissenschaft ein und construirte die erste Isothermenkarte. Taf. 13, Fig. 1 zeigt den Lauf der Jahres-Isothermen, wie es dem gegenwärtigen Beobachtungsmaterial entspricht.

Man übersieht aus dieser Karte, daß die mittlere Jahrestemperatur im westlichen Europa bedeutend höher ist als bei gleicher Breite im Innern von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika, denn die Jahres-Isothermen steigen an den Westküsten Europas sehr weit nach Norden, während sie im Innern Asiens und im östlichen Nordamerika sehr weit nach Süden herabsinken. Europa verdankt sein verhältnißmäßig mildes Klima vorzugsweise dem Golfstrom, dessen warme Gewässer bis zu den Westküsten Europas vordringen, dann aber dem wärmenden Einfluß der Südwestwinde, welche hier ungeschwächt ihre Wirkung thun. Unter dem Einfluß der Südwestwinde steigen die Isothermen auch an den Westküsten Nordamerikas wieder nach Norden.

Die Temperatur der Erdoberfläche und der untern Luftschichten ist fortwährenden Schwankungen unterworfen, in welchen sich eine tägliche und eine jährliche Periode geltend macht.

Wenn man den Gang der Temperatur an einem einzelnen Tage verfolgt, so zeigen sich mehr oder weniger große Unregelmäßigkeiten, welche unter Umständen den normalen Gang der täglichen Periode ganz maskiren können. So stellen zum Beispiel in Fig. 7 und 8, Taf. 13, die beiden feiner gezogenen Curven den Gang der Temperatur dar, wie er am 10. und 18. Juli 1841 zu München beobachtet worden ist. Die Abscissen dieser Figur sind den (astronomisch gezählten) Tagesstunden, die Ordinaten sind Réaumur'schen Graden proportional aufgetragen. Nimmt man aber aus allen während der Jahre 1841, 1842 und 1843 im Juli morgens um 4 Uhr (16 Uhr astronomisch) gemachten Beobachtungen das Mittel, so erhält man 9,9°. Ebenso ergibt sich für 6 Uhr morgens die Durchschnittstemperatur 11,8°, für 8 Uhr 14° u. s. w. Bestimmt man so die Durchschnittstemperatur für alle Tagesstunden des Juli, so erhält man den normalen Gang der Temperatur im Laufe eines Julitags wie er durch die stärker ausgezogene Curve in Fig. 7 dargestellt ist.

In gleichem Sinne ist in Fig. 8 der Gang der Temperatur am 9. und 10. Januar 1841 durch die beiden untersten fein ausgezogenen Curven, der normale Gang der Temperatur im Laufe eines Januartags aber durch die stärkere Curve dargestellt.

Im Durchschnitt fällt die niedrigste Temperatur auf die Stunde des Sonnenaufgangs, die höchste im Winter auf 1 Uhr, im Sommer auf 2 Uhr nachmittags. Die Differenz zwischen dem täglichen Maximum und Minimum ist im Winter weit kleiner als im Sommer, sie beträgt zum Beispiel für München durchschnittlich im Juli 6,2° R., im Januar nur 2° R.

Durch die jährliche Periode ist die Abwechselung der Jahreszeiten bedingt. In der heißen Zone sind die Schwankungen der Lufttemperatur im Laufe eines Jahres unbedeutend. Der Charakter der Jahreszeiten ist am schärfsten in der Mitte der gemäßigten Zone ausgeprägt. Je mehr man sich der heißen Zone nähert, desto geringer wird der Unterschied zwischen Sommer und Winter, je mehr man sich den Polarkreisen nähert, desto greller wird dieser Unterschied, während die Uebergangsperioden, Frühling und Herbst, fast verschwinden.

Man erhält eine Uebersicht der jährlichen Periode der Lufttemperatur, wenn man die mittlere Temperatur eines Ortes für jeden der einzelnen Monate des Jahres ermittelt und danach die jährliche Temperaturcurve construirt, wie es in Taf. 13, Fig. 5 für Havana, Rom und Barnaul (in Sibirien), und in Fig. 6 für Moskau und Reykjavik (auf der Insel Island) geschehen ist. Man sieht zum Beispiel in Fig. 5, daß in Rom die mittlere Temperatur des kältesten Monats (Januar) ungefähr 6° R., die des heißesten (Juli) beinahe 20° R. beträgt, die Differenz zwischen der mittlern Temperatur des heißesten und des kältesten Monats beträgt für Rom also ungefähr 14° R. Diese Differenz beträgt für Havana nicht ganz 5° R., für Barnaul aber beträgt sie über 32° R.

Für Orte gleicher mittlerer Jahreswärme ist deshalb der normale Gang der Temperatur im Laufe eines Jahres keineswegs derselbe. So haben z. B. Moskau und Reykjavik nahezu gleiche mittlere Jahrestemperatur (3,6° und 3,3° R.), die jährliche Temperaturcurve ist aber, wie man aus Fig. 6 sieht, für Reykjavik eine viel flachere als für Moskau. Für Moskau ist der Sommer heißer und der Winter kälter als für Reykjavik. Für Moskau ist die Temperatur des heißesten Monats um 23,5° R., für Reykjavik ist sie nur um 12,5° R. höher als die des kältesten Monats.

Durch die Nähe des Meeres, namentlich an den Westküsten von Europa und Nordamerika, sind die Gegensätze zwischen Sommer und Winter sehr gemäßigt (Seeklima), während sie im östlichen Europa und in Nordasien ebenso wie im Innern von Nordamerika sehr groß sind (Continentalklima). Reykjavik gehört dem Seeklima, Moskau gehört dem Continentalklima an.

Das beste Bild der gleichzeitigen Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche bieten die Monats-Isothermen, d. h. die Curven gleicher mittlerer Monatswärme. Taf. 13, Fig. 2 zeigt den Verlauf der Januar-, und Fig. 3 zeigt den der Juli-Isothermen. Man übersieht aus diesen Karten unter anderm, daß Washington im Januar gleiche Temperatur mit Reykjavik und den westlichsten Vorgebirgen Norwegens, im Juli aber gleiche Temperatur mit der Südküste von Sicilien hat. Die Isotherme von 20° R., welche im Januar etwas südlich von St.-Domingo herläuft, steigt während der folgenden 6 Monate bis nach Washington, im westlichen Asien steigt sie von der Südküste Arabiens bis zur Mitte des Kaspischen Meeres. In der Nähe der Capverdischen Inseln bleibt dagegen die Lage der Isothermen von 20° R. fast ungeändert.

Temperatur der höhern Luftschichten.

Mit der Erhebung über das Niveau der Meeresfläche sinkt die Temperatur, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder hohe Berge besteigen.

Gay-Lussac stieg im Jahre 1804 in einem Luftballon bis zu einer Höhe von 21000 Fuß auf und beobachtete in dieser Höhe eine Temperatur von —7,6° R., während am Boden eine Temperatur von 24,8° R. herrschte. Auf Taf. 14 gibt Fig. 4 eine vergleichende Uebersicht der thermischen Beobachtungen, welche bei drei im Jahre 1852 in England unternommenen Luftfahrten angestellt wurden. Die Zahlen auf der linken Seite geben die nach pariser Fußen gemessenen Höhen, die Zahlen, welche auf den schattirten Streifen stehen, geben die an den entsprechenden Stellen beobachteten Temperaturen in Réaumur'schen Graden an.

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an. Je höher man steigt, desto mehr nimmt die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsstriche an. In Südamerika kann man in einem Tage aus der Region der Palmen bis zum ewigen Schnee aufsteigen. In der Andeskette ist nach Humboldt die mittlere Jahrestemperatur in einer Höhe über dem Meere von

0	Fuß	22' R.
6000	„	14,4° „
12000	„	5,6° „
15000	„	1,2° „

Am Abhang großer Gebirgsmassen kann man sich isothermische Linien gelegt denken, welche nahezu als horizontale Curven erscheinen werden. Taf. 14, Fig. 5 zeigt den Verlauf der Höhen-Isothermen in den Alpen. Man übersieht leicht, daß die Isotherme von 0° R. in einer Höhe von 6000 bis 7000 Fuß um die Alpen herumzieht.

Unter sonst gleichen Umständen ist es auf Hochebenen wärmer als auf isolirten Berggipfeln gleicher Höhe.

Die Temperaturabnahme in den höhern Luftregionen wird dadurch besonders markirt, daß auf hohen Gebirgen der Schnee selbst in den Sommermonaten nicht wegschmilzt, sodaß diese Gipfel stets mit Schnee bedeckt bleiben. Die untere Grenze des ewigen Schnees rückt um so tiefer gegen den Meeresspiegel herunter, je mehr man sich vom Aequator aus den Polen nähert. So ist z. B.:

für Quito	0° n. Br. die Höhe der Schneegrenze	15320'
„ Mexico	19° „ „ „	13900'
„ Alpen	46° „ „ „	8350'
„ Norwegen	71° „ „ „	2220'

Wie ungleich die Höhe der Schneegrenze auf den Gebirgen verschiedener Gegenden ist, wird durch Fig. 8 auf Taf. 15 anschaulich gemacht, in welcher die vorzüglichsten Höhen von Amerika, Asien und Europa in Gruppen zusammengestellt sind. Nr. 1, 2 und 3 sind der Illimani, der Aconcagua und der Chimborasso in Südamerika. Dem Himalajagebirge gehören Nr. 4 und 5 (Schamalari und Dhawalagiri) an, Nr. 6 stellt den Kaukasus dar. Die übrigen Gipfel entsprechen europäischen Gebirgen: Nr. 7 den Pyrenäen, Nr. 8 den Alpen, Nr. 9 dem Sulitelma in Norwegen und Nr. 10 der Insel Mageröe, deren nördlichste Spitze das Nordcap bildet.

Aus Fig. 5 auf Taf. 14 sieht man, daß die Schneegrenze (die Grenzlinie zwischen braun und blau) merklich höher liegt als die Jahres-Isothermen von 0°. Die Höhe der Schneegrenze ist vorzugsweise bedingt durch die Temperatur des heißesten Monats und die Menge des Schneefalls. Wie man aus Fig. 8, Taf. 15, sieht, liegt die Schneegrenze auf dem Nordabhang des Himalaja höher als auf dem Südabhang, weil auf dem Südabhang viel mehr Schnee fällt.

Da in hohen Gebirgen oberhalb der Schneegrenze mehr Schnee fällt als an Ort und Stelle wegschmelzen kann, so müßte hier eine ins Unendliche fortgehende Anhäufung von Schneemassen stattfinden, wenn nicht durch die **Gletscher** eine Ausgleichung vermittelt würde. Die Gletscher sind langsam fortschreitende Eisströme, welche sich in hohen Gebirgen aus der Region des ewigen Schnees in den Thalsohlen bis weit unter die Region der Schneegrenze herabsenken, sodaß das untere Gletscherende oft von einer blühenden Vegetation umgeben ist.

Der ursprünglich aus feinen Nädelchen bestehende Schnee wird durch theilweises Schmelzen und wieder Gefrieren in eine körnige Masse, den **Firn**, verwandelt, welcher sich durch häufige Wiederholung desselben Processes allmählich in eine aus einzelnen walnußgroßen, aber fest zusammengekeilten Körnern bestehende Eismasse verwandelt, welche auf ihrer geneigten Unterlage langsam thalabwärts gleitet. Fig. 7, Taf. 15, ist eine Ansicht des **Rosenlauigletschers**, welche sehr geeignet ist, einen richtigen Begriff von der Gletscherbildung zu geben. Man sieht, wie sich aus den ausgedehnten Schnee- und Firnfeldern die Eismasse, einer ungeheuern Thräne nicht ganz unähnlich, in die Tiefe hinabsenkt. Fig. 5, Taf. 15, stellt den **Rhônegletscher** dar, welcher, nachdem er in einem engern und steilern Thale, einer Eiscascade ähnlich, herabgestiegen ist, sich nun auf der erweiterten Thalsohle fächerförmig ausbreitet.

Aus der Karte des **Mer de Glace** im Chamounithal, Taf. 14, Fig. 6, sieht man, wie dieser mächtige Eisstrom durch die Vereinigung mehrerer Theilströme entsteht. Aus den Firnfeldern des Col du Géant senkt sich der Glacier du Géant herab, der sich weiter unten mit dem Glacier du Léchaud und dem Glacier du Talèfre vereinigt. Das untere Ende des Mer de Glace bei k liegt 3670 Fuß über dem Meeresspiegel, also ungefähr 4330 Fuß unter der Schneegrenze.

Im Jahre 1788 ließen die Begleiter Saussure's am obern Ende des Glacier du Géant bei g, Fig. 6, eine Leiter zurück, deren Bruchstücke im Jahre 1832, also nach 56 Jahren bei s wiedergefunden wurden. In 56 Jahren hat demnach der Eisstrom die Strecke von g bis s zurückgelegt, im Durchschnitt also jährlich einen Weg von 375 Fuß.

Das Eis des Col du Géant braucht 120 Jahre, um das untere Ende des Eismeers zu erreichen.

Von den Thalwänden, zwischen welchen die Gletscher eingebettet sind, fallen mehr oder minder große Felsstücke, Steingeröll und Grund auf die Ufer des Eisstroms, welche von dem Eise langsam thalabwärts getragen werden. Wenn nun zwei Gletscher zusammenstoßen, so gelangen diese Gesteinstücke, welche bis dahin auf den einander zugewendeten Ufern lagen, auf die Mitte des durch die Vereinigung gebildeten Gletschers und wandern nun auf der Mitte desselben (**Mittelmoräne**) fort, allen Krümmungen des Eisstroms folgend. Taf. 15, Fig. 6, welche den vom Siedelhorn aus gesehenen **Unteraargletscher** darstellt, ist eine Mittelmoräne in ausgezeichneter Weise sichtbar.

Das untere Ende der Gletscher ist stets von bedeutenden Gesteins- und Geröllmassen umgeben (**Frontmoränen**), welche durch das Eis allmählich herabgetragen worden sind. Wenn nun das untere Gletscherende einige Jahre lang vorrückt, so wird der Trümmerwall, welcher dasselbe umgibt, mit unwiderstehlicher Gewalt fortgeschoben, um liegen zu bleiben, wenn dann das untere Gletscherende sich wieder für einige Zeit zurückzieht. So sieht man Taf. 15, Fig. 5 einige alte Frontmoränen, welche wallartig das untere Ende des Rhônegletschers umgeben.

Mit der Entfernung vom Aequator steigen auch die Gletscher tiefer herab, um endlich in den Polarregionen beider Hemisphären den Meeresspiegel zu erreichen. So stellt Fig. 1 auf Taf. 15 einen Gletscher auf Spitzbergen und Fig. 2 einen solchen auf der Westküste von Grönland dar, welche beide von den Meereswogen umspült werden.

Temperatur des Bodens und der Quellen.

Um die Temperatur der obern Bodenschichten zu beobachten, kann man die Lamont'sche Vorrichtung, Taf. 16, Fig. 3, anwenden. In den Boden ist eine hölzerne Röhre von quadratischem Querschnitt eingesenkt, in welche 4 Balken passen, von denen einer auf dem andern steht und welche mittels einer Stange der Reihe nach herausgezogen werden können. An jedem dieser Balken ist eine Vertiefung angebracht, in welcher ein Thermometer mit großem Gefäß angebracht ist. Die fünf Thermometer befinden sich der Reihe nach 4, 8, 12, 16 und 20 Fuß tief unter der Oberfläche. Um die Beobachtung zu machen, wird erst A herausgezogen und das oberste Thermometer rasch abgelesen, dann das zweite u. s. w. Eine solche Beobachtung wird jede Woche einmal gemacht.

Nach solchen jahrelang zu München fortgesetzten Beobachtungen ist der jährliche Gang der Temperatur in Fig. 9, Taf. 13, für eine Tiefe von 4, 12 und 20 Fuß graphisch dargestellt. Die Figur zeigt, daß die jährlichen Extreme einander um so näher rücken, je tiefer man in den Boden eindringt. Für eine Tiefe von 20 Fuß beträgt diese Differenz nur noch $1^1/_4$° R. Außerdem aber tritt das jährliche Maximum und Minimum für tiefere Schichten später ein als für höhere. Während das Temperaturmaximum und Minimum auf der Oberfläche im Juli und Januar eintritt, geschieht dies in einer Tiefe von 20 Fuß erst im December und Mai.

Im mittlern Europa verschwinden die jährlichen Variationen der Temperatur in einer Tiefe von 70 Fuß, sodaß hier beständig die gleiche Temperatur herrscht, welche nur wenig höher ist als die mittlere Temperatur des Beobachtungsortes an der Oberfläche. Für Orte, deren mittlere Temperatur unter dem Gefrierpunkt liegt, wie dies im nördlichen Sibirien der Fall ist, bleibt der Boden in der Tiefe von einigen Fußen beständig gefroren.

Noch über die Tiefe hinaus, für welche die jährlichen Variationen der Temperatur verschwinden, in den Boden eindringend, wird die Temperatur stets höher; so fand man in einem Bohrloch

zu Rüdersdorf in einer Tiefe von 680′ . . . . 17° C.
„ Grenelle „ „ „ „ 1650′ . . . . 28° „
„ Neusalzwerk „ „ „ „ 2050′ . . . . 33° „

Im Durchschnitt steigt die Temperatur um 1° C., wenn man um 100 Fuß tiefer in den Boden eindringt. Demnach müßte man schon in einer Tiefe von 10000′ die Temperatur des siedenden Wassers finden und in einer Tiefe von fünf Meilen müßte eine Hitze herrschen, bei welcher Gußeisen und Basalt flüssig sind. Demnach läßt sich kaum daran zweifeln, daß sich das Innere der Erde in feurig-flüssigem Zustande befindet.

Das in den Boden eindringende Regenwasser nimmt die Temperatur der Erd- und Felsschichten an, mit welchen es längere Zeit in Berührung bleibt, und so kommt es, daß die Temperatur etwas wasserreicher Quellen das ganze Jahr hindurch ziemlich constant bleibt und daß sie wenig von der mittlern Temperatur des Ortes verschieden ist, an welchem sie hervorbrechen. Solche Quellen jedoch, deren Wasser bis zu einer größern Tiefe eingedrungen war, werden eine um so höhere Temperatur zeigen, aus je größerer Tiefe ihr Wasser kommt. Zu den interessantesten heißen Quellen gehören die periodischen Springquellen Islands, namentlich aber der große Geysir.

Auf dem Gipfel eines ungefähr 70 Fuß hohen Hügels befindet sich ein Bassin on 48 Fuß, in dessen Mitte sich ein 9 Fuß weites Rohr bis zu einer Tiefe von 70 Fuß vertical hinabsenkt. Rohr und Bassin sind meist mit heißem Wasser gefüllt. Taf. 16, Fig. 5 ist das Bild einer Geysireruption, Fig. 4 dagegen ist eine Ansicht des Bassins und der Mündung des Rohrs zu einer Zeit, in welcher das Bassin wasserfrei ist.

Von Zeit zu Zeit schwillt das Wasser im Becken an und große Dampfblasen steigen auf. In Zwischenräumen von 80—90 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung, bis endlich eine große Eruption erfolgt. Das Wasser im Bassin schwillt höher an und ein Wasserstrahl schießt 80—100 Fuß hoch senkrecht in die Luft (Fig. 5); ungeheuere Dampfwolken verhüllen zum Theil die Wassersäule. Nach einer solchen Explosion ist das Bassin und das Rohr bis zu einer Tiefe von etwa 6 Fuß von Wasser entleert. Nach und nach steigt das Wasser wieder, bis das Bassin voll ist und nach einem oder mehrern Tagen eine neue Eruption erfolgt.

Durch Kanäle, welche man nicht weiter verfolgen kann, tritt das weit über 100° C. erhitzte Wasser am untern Ende des Rohrs in dasselbe ein, seine Temperatur sinkt aber um so mehr, je höher es aufsteigt. An jeder einzelnen Stelle ist die Temperatur des Wassers unmittelbar nach einer großen Eruption am geringsten, sie steigt aber allmählich wieder bis zur nächsten Eruption. Ueberall aber ist die Temperatur des Wassers geringer, als die Temperatur des Siedepunktes an dieser Stelle, welche mit der Tiefe wächst, weil außer dem Druck der Atmosphäre auch noch der Druck einer Wassersäule zu tragen ist. Ungefähr in einer Tiefe von 50 Fuß kommt die Temperatur des Wassers der Temperatur des entsprechenden Siedepunktes am nächsten. Bildet sich nun hier wirklich einmal eine große Dampfblase, so wird ein Theil des Wassers aus dem Rohre hinausgeworfen, der Druck, welcher auf den tiefern Wasserschichten lastet, wird vermindert und infolge davon tritt ein massenhaftes Kochen ein, durch welches das siedende Wasser hoch in die Luft geschleudert wird.

Um das Geysirphänomen im kleinen nachzuahmen, dient der Apparat Fig. 6, Taf. 16; ein 5 Zoll weites, 5 Fuß langes Blechrohr mündet oben in ein flaches Becken. Mit Wasser gefüllt steht das Rohr unten in einem Kohlenbecken, während in seiner Mitte ein zweites Kohlenbecken angebracht ist. An diesem Apparat erfolgt eine Eruption nach je 5 Minuten. Das Wasser wird dann 2—3 Fuß hoch in die Höhe geschleudert.

Temperatur der Meere.

Man hat versucht, Isothermen der Oberfläche des Meerwassers zu construiren, allein sie verlaufen so gekräuselt, daß man nicht wohl annehmen kann, daß sie das Gesetz der wahren Vertheilung der Wärme auf der Meeresoberfläche darstellen. Von größerer, namentlich zoologischer Bedeutung sind dagegen die Isokrymen, welche auf der Karte Taf. 13, Fig. 4 aufgetragen sind. Sie verbinden die Orte, an denen die Temperatur der Meeresoberfläche während

der 30 aufeinanderfolgenden kältesten Tage des Jahres gleich niedrig ist.

Während das Wasser der Landseen in großen Tiefen stets eine Temperatur von 4 bis 5° C. (also ungefähr die Temperatur seines Dichtigkeitsmaximums) hat, ist die Temperatur des salzhaltigen Wassers aller Meere in der Tiefe noch geringer. Selbst im Indischen Ocean fand man in einer Tiefe von 6000 Fuß eine Temperatur zwischen 2 und 3° C., während die Temperatur an der Oberfläche 24° C. betrug. Auch in den Tiefen der Polarmeere ist die Temperatur des Wassers 2 bis 3° C.

Daß selbst in den Tiefen der Aequatorialmeere eine so niedrige Temperatur herrscht, läßt sich nur dadurch erklären, daß in der Tiefe stets das an den Polen erkaltete Wasser dem Aequator zuströmt. Das ist aber nicht möglich, ohne daß an der Oberfläche des Meeres Strömungen vorkommen, welche das Wasser der Tropen den Polen zuführen. Auf der Karte Taf. 14, Fig. 1 sind die bedeutendern Strömungen an der Oberfläche des Meeres eingezeichnet, und zwar die warmen roth, die kalten schwarz. Für Europa ist der Golfstrom von besonderer Wichtigkeit, welcher, aus dem Mexicanischen Meerbusen kommend, zunächst an den Küsten von Nordamerika hinläuft und sich dann gegen Europa wendet.

Während sich der Lauf der Strömungen an der Oberfläche des Meeres durch Beobachtungen feststellen läßt, entziehen sich die Strömungen in der Tiefe vollständig der Wahrnehmung. Auch auf theoretischem Wege läßt sich ihr Lauf nicht ermitteln und zwar um so weniger, da uns die Gestaltung des Meeresbodens fast ganz unbekannt ist. Nur für wenige Gegenden kennt man das Profil des Meeresbodens genauer, wie z. B. für den Atlantischen Ocean zwischen Irland und Neufundland, wo man es wegen Legung des Telegraphenkabels sondirte. Fig. 13 auf Taf. 16 stellt dieses Profil dar, und zwar sind hier die Meerestiefen in einem hundertmal größern Maßstab aufgetragen als die horizontalen Entfernungen. Die größte Meerestiefe zwischen St.-Johns (a) und Valentia (b) beträgt 2170 Faden (1 Faden = 6 Fuß englisch).

Eine andere Bewegung der Meeresoberfläche, welche nicht thermischen Ursprungs ist, welche aber doch am besten hier besprochen wird, ist die Ebbe und Flut. 6 Stunden 12½ Minuten lang steigt das Meer, das ist die Flut; dann fällt es wieder in den nächsten 6 Stunden 12½ Minuten, und dieses Sinken wird die Ebbe genannt. Innerhalb 24 Stunden 50 Minuten (die Zeit von einer Mondculmination zur nächsten) findet also zweimal Ebbe und zweimal Flut statt. Daraus ersieht man schon, daß Ebbe und Flut vorzugsweise durch den Mond bedingt sind, was noch augenscheinlicher dadurch hervortritt, daß das Maximum der Flut stets um eine bestimmte Zeit nach dem (obern und untern) Durchgang des Mondes durch den Meridian stattfindet. Diese Zeit, welche den Namen Hafenzeit führt, ist von einem Orte zum andern infolge localer Ursachen verschieden. So beträgt die Hafenzeit in

Cadix . . .	1 St. 15 M.	Plymouth . .	6 St. 5 M.
Lissabon .	4 „ 0 „	Calais . . .	11 „ 45 „
Bayonne	3 „ 30 „	Hamburg .	5 „ 0 „

Die Fluthöhe, d. h. der Unterschied zwischen der Höhe des Meeresspiegels zur Zeit der Flut und zur Zeit der darauffolgenden Ebbe, ist für einen und denselben Ort veränderlich, indem sie theils periodische, theils zufällige Schwankungen erleidet. Die periodischen rühren daher, daß auch die Sonne eine Ebbe und Flut veranlaßt, welche aber geringer ist als die Mondflut. Die Höhe der Fluten ist deshalb am größten zur Zeit des Neumondes und des Vollmondes (Springflut); sie ist am kleinsten zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels.

Die zufälligen Schwankungen werden vorzugsweise durch Winde und Stürme bedingt, welche je nach Umständen das Steigen der Flut begünstigen oder hemmen. Ebenso ist die Fluthöhe von localen Verhältnissen abhängig. Im Mittelländischen Meere kaum merklich, ist sie an den Küsten von England und Frankreich sehr bedeutend. So ist z. B. die mittlere Höhe der Springflut zu Bayonne 9 Fuß, zu London 18 Fuß, zu St.-Malo 36 Fuß, in der Fundybay (Britisch-Nordamerika) 60 bis 70 Fuß. Auf kleinen mitten im Ocean liegenden Inseln ist die Fluthöhe unbedeutend, z. B. 3 Fuß auf St.-Helena, 2 Fuß auf den kleinen Inseln der Südsee.

Mit dem Namen der Isorachien bezeichnet man solche Curven, welche, wie die Taf. 14, Fig. 2 gezogenen, alle Orte der Meeresoberfläche miteinander verbinden, die gleichzeitig den Gipfel einer Flutwelle bilden. Haben z. B. alle Punkte einer mit 2 bezeichneten Curve zu einer bestimmten Stunde des Tags Hochwasser, so wird die Flutwelle in zwei, in vier, in sechs Stunden bis zu den folgenden mit 4, 6, 8 bezeichneten Curve vorgedrungen sein.

Bei der großen Kälte, welche an der Oberfläche der Polarmeere herrscht, muß eine massenhafte Eisbildung stattfinden. Da aber beim Gefrieren des salzhaltigen Meerwassers sich salzfreies Eis bildet, so ist die Eisbildung von der Ausscheidung einer concentrirtern Salzlösung begleitet, welche zwischen den gebildeten Eisblättchen eingeschlossen bleibt, weshalb denn auch das aus Meerwasser entstandene Eis nicht compact und fest ist, wie das Süßwassereis, sondern leicht zerbrechlich und schwammig.

Wenn die Oberfläche des Meeres gefriert, so bilden sich meilenweit ausgedehnte Eisfelder, welche, durch den Wogenschlag zerbrochen, das Treibeis liefern. Durch Meeresströmungen und Winde wird das Treibeis oft ziemlich weit gegen den Aequator hingetrieben. In der Karte Taf. 14, Fig. 1, ist die durchschnittliche Grenze des Treibeises auf beiden Hemisphären durch V. V. V. bezeichnet.

Das Treibeis ragt nicht weit über den Meeresspiegel empor. Manchmal begegnet man aber schwimmenden Eisbergen, welche 100—120 Fuß hoch über den Meeresspiegel emporragen. Diese Eisberge, welche viel weiter gegen den Aequator vordringen als das Treibeis, bestehen aus festem Süßwassereis und stammen von Gletschern, welche in das Meer vorgeschoben, von der übrigen Gletschermasse abgebrochen und durch die Wogen von ihrem Bildungsorte weggeführt wurden. Taf. 15, Fig. 3 und 4 sind Ansichten solcher schwimmender Eisberge.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

Größe und Variationen des Luftdrucks.

Wenn man sich über den Spiegel des Meeres erhebt, so sinkt die Barometersäule. Ungefähr in der Höhe der punktirten Horizontallinie, Taf. 15, Fig. 8, welche den Gipfel des Kaukasus streift, ist der mittlere Barometerstand nur noch halb so hoch als im Niveau des Meeres. Der kleine Ballon, den man in dieser Figur etwas rechts über dem Berggipfel 8 schweben sieht, bezeichnet die Höhe, bis zu welcher Gay-Lussac

im Luftballon aufgestiegen war. In einer Höhe von 8 geographischen Meilen ist die Dichtigkeit der Luft 800 mal geringer als am Spiegel des Meeres.

Wenn man das an einem bestimmten Orte aufgestellte Barometer einige Zeit lang beobachtet, so zeigt sich bald, daß es regellos um einen mittlern Stand schwankt. In diesen unregelmäßigen, zufälligen Schwankungen lassen sich jedoch auch periodische Schwankungen nachweisen, wenn man aus langen Beobachtungsreihen die entsprechenden Mittelzahlen berechnet. Nimmt man z. B. das Mittel aus allen im Laufe eines Jahres um 6, 7, 8 Uhr u. s. w. gemachten Beobachtungen, so läßt sich danach der mittlere tägliche Gang des Barometers bestimmen. Das Mittel aus allen im Laufe eines Monats gemachten Barometerbeobachtungen liefert den mittlern Barometerstand des Monats, und wenn man das barometrische Mittel für alle Monate des Jahres berechnet hat, so ergibt sich danach das Gesetz der jährlichen Variationen des Barometerstandes.

In unsern Gegenden sind die periodischen Schwankungen des Barometers sehr klein gegen die zufälligen, sodaß sie erst durch längere Beobachtungsreihen sichtbar gemacht werden können. In den Tropen dagegen treten die periodischen Variationen des Barometers viel entschiedener hervor, wie man aus den Figuren 7 und 8, Taf. 14, ersieht. Fig. 7 stellt den Gang der täglichen, und Fig. 8 stellt den Gang der jährlichen Variationen des Barometers für Kalkutta und Petersburg dar.

Die Ursache der Barometerschwankungen liegt darin, daß eine wärmere Luftsäule bei gleicher Höhe einen geringern Druck ausübt als eine kältere, das Barometer wird also im allgemeinen steigen müssen für Winde, die aus kältern, es wird fallen müssen für Winde, die aus wärmern Gegenden kommen. Im allgemeinen wird deshalb auch der Gang des Thermometers und des Barometers ein entgegengesetzter sein müssen, wie sich dies auch im Winter am entschiedensten ausspricht. So stellt z. B. die obere Curve in Fig. 10, Taf. 13, den Gang des Thermometers, die untere Curve stellt den des Barometers zu Frankfurt a. M. vom 11. Januar bis zum 6. Februar 1837 dar.

Bei uns sind nun die von den Aequatorialgegenden kommenden Südwestwinde zugleich feuchte Regenwinde, die kalten Nordostwinde sind zugleich trockene Winde, woher es denn kommt, daß das Barometer bei regnerischem Wetter durchschnittlich tiefer, bei hellem, trockenem Wetter aber höher steht.

Wenn dieser Gegensatz im Sommer nicht so rein auftritt, so ist der Grund davon darin zu suchen, daß im Sommer die unmittelbare Wirkung der Sonne mehr in den Vordergrund tritt. Die Wirkung der Sonnenstrahlen wird aber bei Südwestwind durch die Wolkendecke gemildert, während sie bei dem heitern Himmel, den der Nordostwind bringt, ganz ungeschwächt auftritt.

Winde und Stürme.

Die Entstehung der Winde ist durch die ungleiche Vertheilung der Wärme in der Atmosphäre bedingt. Da wo die Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen am stärksten erhitzt wird, muß die erwärmte Luft wegen ihres geringern specifischen Gewichts aufsteigen, um oben seitwärts abzufließen, während am Boden frische Luft von kältern Gegenden zuströmt.

Im kleinen läßt sich dies durch folgenden Versuch darthun. Man öffne im Winter die Thür eines geheizten Zimmers, welche in einen kalten Raum führt so weit, daß ein ungefähr zwei Finger breiter Spalt entsteht, wie Taf. 16, Fig. 7 andeutet, und halte dann eine brennende Kerze in den Spalt, so wird die Flamme nach außen geblasen, wenn man sie in die obere, nach innen, wenn man sie in die untere Hälfte der Spaltöffnung hält, während die Flamme in der mittlern Höhe der Spaltöffnung unbewegt bleibt.

Demnach muß also dem Aequatorialgürtel der Erde in den untern Schichten der Atmosphäre von beiden Polen her stets Luft zuströmen, und so müßte auf der einen Seite dieses Gürtels ein beständiger Nord-, auf der andern Seite ein beständiger Südwind wehen; durch die Rotation der Erde werden aber diese Winde in beständige Nordost- und Südostwinde verwandelt, welche den Namen der Passatwinde führen.

In voller Regelmäßigkeit wehen diese Passatwinde nur auf dem offenen Meere. Taf. 14, Fig. 3, die Region des Nordostpassats, sowie die des Südostpassats, sind durch rothe Färbung ausgezeichnet.

Da wo der Nordostpassat von der nördlichen, der Südostpassat von der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung durch eine verticale Bewegung der infolge ihrer starken Erwärmung mächtig aufsteigenden Luft neutralisirt wird. Es würde hier fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Blitz und Donner stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten. — Die Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die auf der Karte Taf. 14, Fig. 3 gleichfalls verzeichnete Region der Calmen.

Die Region der Calmen fällt nicht mit dem Aequator zusammen, sondern sie liegt etwas nördlich von demselben, was eine Folge davon ist, daß auf der nördlichen Halbkugel viel mehr Land liegt als auf der südlichen.

Die in der Region der Calmen aufsteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen zu ergießen. Die Richtung dieses obern Passats ist der des untern entgegengesetzt; sie ist auf der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, auf der südlichen eine nordwestliche.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Pic von Teneriffa wehen häufig Südwestwinde, während am Meeresspiegel der Nordostpassat herrscht.

Im Indischen Ocean ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen gestört. Im südlichen Theile des Indischen Oceans, zwischen Madagaskar und Neuholland, herrscht freilich das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht der Nordost vom September bis zum April, der Südwest dagegen vom April bis zum September. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Moussons genannt. Auf der Karte Taf. 14, Fig. 3 ist die Region der Moussons gleichfalls bezeichnet.

Der von den Aequatorialgegenden abströmende, sich mit der Annäherung gegen die Pole immer mehr senkende obere Passat erreicht endlich den Boden, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre als Südwest-, auf der südlichen als Nordwestwind. Außerhalb der Region der Passate gehen also die beiden Strömungen, welche die Luft dem Aequator zu und von demselben wegführen, nicht mehr übereinander, sondern nebeneinander her, indem sie sich abwechselnd gegenseitig

verdrängen; bald erlangt der Nordost, bald der Südwest die Oberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Hauptwindrichtungen in die andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Der bei oberflächlicher Betrachtung ganz regellose Wechsel der Windrichtungen unterliegt, wie genauere Untersuchungen gezeigt haben, doch einem bestimmten Gesetze, indem die Winde innerhalb der nördlichen gemäßigten Zone in der Regel in folgender Ordnung aufeinanderfolgen: Süd, Südwest, West, Nordwest, Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd.

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes im Winter beobachten. Häufig springt der Wind in einer dem eben angeführten Drehungsgesetz entgegengesetzten Richtung um 45—90 Grad zurück, um sich dann wieder in normaler Richtung, also wie der Zeiger einer Uhr, weiter zu drehen.

In der südlichen gemäßigten Zone erfolgt die Drehung des Windes nach der entgegengesetzten Richtung.

Ein Wind, dessen Geschwindigkeit 30 — 40 Fuß in der Secunde beträgt, wird ein starker, ein solcher von 40—60 Fuß Geschwindigkeit wird ein heftiger genannt. Wächst die Geschwindigkeit des Windes über 60 Fuß in der Secunde, so geht er in Sturm über. Die stärksten Stürme von 120—150 Fuß Geschwindigkeit werden als Orkane bezeichnet.

Stürme sind stets die Folge einer irgendwo eingetretenen starken Verminderung des Luftdrucks, weshalb sie denn auch stets von einem starken Fallen des Barometers begleitet sind. Bei heftigen Stürmen sinkt das Barometer öfters rasch um 18 — 22 Linien. Die Luft strömt aber nicht einfach von allen Seiten her gegen die Stelle der größten Luftverdünnung hin, sondern sie nimmt eine wirbelnde Bewegung um das selbst fortschreitende barometrische Minimum an.

In der nördlichen gemäßigten Zone schreitet das Minimum des Luftdrucks in südwestlicher Richtung vor, wie es der gefiederte Pfeil in Fig. 8, Taf. 16, anzeigt, welche den Verlauf des Sturms vom 24. auf den 25. December 1821 darstellt. Um die Stelle des geringsten Luftdrucks wirbelt aber die Luft entgegengesetzt dem Zeiger einer Uhr, also in der Richtung der ungefiederten Pfeile der Fig. 8. An den Orten, welche auf dem Wege des barometrischen Minimums liegen, wie z. B. zu London in dem durch Fig. 8 erläuterten Fall, beginnt also der Sturm mit Südost, um dann rasch in Nordwest umzuschlagen. An Orten, welche südöstlich vom Wege des Minimums liegen, beginnt der Sturm mit Südsüdost und schlägt durch Süd nach West um; auf der Nordwestseite des Minimums dagegen setzt der Sturm mit Ostsüdost ein und schlägt durch Ost nach Nord um.

Auf der Südostseite des Minimums wüthet der Sturm weit heftiger als auf der Nordwestseite, denn auf der Südostseite summirt sich die Geschwindigkeit des Wirbels zu der Geschwindigkeit, mit welcher das Minimum fortschreitet, auf der Nordwestseite dagegen sind diese beiden Geschwindigkeiten einander entgegengesetzt.

In der Nordhälfte der heißen Zone ist die Rotationsrichtung der Wirbelstürme dieselbe wie in der nördlichen gemäßigten Zone, das Centrum des Sturms schreitet aber in südöstlicher Richtung vorwärts, um beim Uebergang in die gemäßigte Zone nach südwestlicher Richtung umzubiegen, wie Taf. 16, Fig. 9 erläutert. Auf der südlichen Hemisphäre ist die Rotationsrichtung der Wirbelstürme die entgegengesetzte von der auf der nördlichen Halbkugel stattfindenden. Innerhalb der heißen Zone schreiten südlich vom Aequator die Centra der Wirbelstürme in nordöstlicher Richtung vorwärts, um beim Uebergang in die südliche gemäßigte Zone eine nordwestliche Richtung anzunehmen, wie Fig. 10 zeigt.

Wir haben eben Wirbelwinde im großartigsten Maßstabe betrachtet; ganz ähnliche Erscheinungen kommen aber auch im kleinsten Maßstabe vor. Bei herannahenden Gewittern sieht man oft Luftwirbel, deren Durchmesser nur einige Fuß beträgt, welche außer Staub und Sand noch Blätter, Stroh, kleine Baumzweige u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Wirbelwinde von größern Dimensionen (20 — 100 Fuß Durchmesser) und größerer mechanischer Kraft werden Wettersäulen oder Tromben genannt. Sie sind im Stande, Bäume zu brechen und zu entwurzeln, Breter und Balken hoch in die Luft zu heben und Hunderte von Schritten fortzuführen u. s. w. Durch aufgewirbelte Staubmassen werden sie auf weithin sichtbar gemacht. Ueber das Meer, über Seen und Flüsse hinziehend, wühlen sie das Wasser so gewaltig auf, daß es sich wirbelnd zu einer schäumenden Wasserpyramide (Wasserhose) erhebt. Taf. 16, Fig. 12 stellt eine am 10. Juni 1858 in der Nähe von Königswinter auf dem Rhein beobachtete Wasserhose dar.

In neuerer Zeit hat man vielfach den elektrischen Telegraphen zu Sturmwarnungen benutzt, und zwar werden am zweckmäßigsten die telegraphischen Witterungsberichte zu diesem Zwecke benutzt. In verschiedenen Ländern hat man Centralstationen errichtet, welche täglich telegraphische Nachricht über den Stand der meteorologischen Instrumente von einer Reihe von Stationen empfangen, die mit ihr in Verbindung stehen. Das großartigste System telegraphischer Witterungsberichte ist ohne Zweifel dasjenige, dessen Centralstation die pariser Sternwarte ist und welches fast ganz Europa umfaßt. Jeden Morgen um 8 Uhr geht ein telegraphischer Bericht von einigen schwedischen, norwegischen, russischen, niederländischen, englischen, französischen, spanischen, italienischen, österreichischen Stationen ein; also fast aus ganz Europa wird morgens um 8 Uhr der Witterungszustand telegraphisch nach Paris berichtet und von da aus werden dann gleichfalls auf telegraphischem Wege verschiedenen Seehäfen die wichtigsten Notizen mitgetheilt. Außerdem aber werden die eingelaufenen Berichte über Thermometer- und Barometerstand, Windrichtung, Bewölkung, Regen u. s. w. täglich in dem Bulletin international zusammengestellt, und diesem noch ein Kärtchen von Europa beigegeben, in welchem die nach den berichteten Barometerständen construirten Isobaren, d. h. Linien gleichzeitigen gleichen Barometerstandes, eingetragen sind. Taf. 16, Fig. 11 ist die Copie des für den 15. November 1864 construirten Kärtchens. An der Grenze zwischen England und Schottland bestand am Morgen jenes Tags ein barometrisches Minimum von 729^{mm}, um welche die Isobaren von 730^{mm} (73 Centimeter), 735^{mm}, 740^{mm} als geschlossene Curven herumlaufen. Auf den südwestlichen Küsten von Norwegen, der Südküste von England und der Südwestküste von Island war der Barometerstand 745^{mm} u. s. w.

Wenn, wie es hier der Fall ist, um ein barometrisches Minimum die von 5 zu 5^{mm} fortschreitenden Isobaren dicht gedrängt herumlaufen, so findet sicherlich eine stürmische Bewegung der Luft statt, welche nach den besprochenen Gesetzen um die Stelle des tiefsten Barometerstandes herumwirbelt. Das Centrum des Wirbelsturms aber schreitet mit einer Geschwindigkeit von 70—100 geographischen Meilen in 24 Stunden fort, sodaß es meist noch

möglich ist, die vom Sturm zunächst bedrohten Häfen zu warnen.

Hydrometeore.

In einem lufterfüllten Raume kann ebenso viel Wasserdampf enthalten sein, wie bei gleicher Temperatur in einem gleichgroßen luftleeren Raume. Wird etwas Wasser in einen luftleeren Raum gebracht, so geht die Verdampfung so rasch vor sich, daß er in kürzester Zeit mit Wasserdämpfen erfüllt ist, bringt man aber Wasser mit einem lufterfüllten Raum in Berührung, so geht die Dampfbildung nur allmählich vor sich, weil die Luft ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des Wasserdampfes bildet, sodaß erst nach längerer Zeit der Sättigungszustand eintritt. Daher kommt es, daß unsere Atmosphäre, obgleich sie vielfach mit Wasser in Berührung ist, selten mit Wasserdampf gesättigt ist.

Die Menge des Wasserdampfes, welchen ein gegebener luftleerer oder mit Luft erfüllter Raum aufzunehmen im Stande ist, hängt von der Temperatur ab. Ein Kubikmeter Luft kann aufnehmen

bei 0° C. .... 5,4 Gramm, 20° C. .... 17,4 Gramm,
„ 10° C. .... 9,7 „ 30° C. .... 29,4 „

wenn also bei 30° C. in 1 Kubikmeter Luft nur 17,4 Gramm Wasserdampf enthalten sind, so ist sie nicht gesättigt, sie enthält nur $\frac{17,4}{29,4} = 0,59$, d. h. 59 Procent des Wasserdampfes, welchen sie bei 30° C. überhaupt aufzunehmen im Stande ist.

Um den Wassergehalt der Luft zu ermitteln, hat man verschiedene Instrumente construirt. Daniel's Hygrometer, Taf. 16, Fig. 21, besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt. Die eine, a, ist vergoldet, die andere ist mit einem Leinwandläppchen umwickelt. a ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre t hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel b tröpfelt, so wird sie durch dessen Verdampfung erkaltet, in ihrem Innern werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung in der Kugel a bewirkt, welche eine Abkühlung derselben zur Folge hat. Ist die Abkühlung bis zu der Temperatur fortgeschritten, für welche die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, so beschlägt sich die Kugel a mit einer zarten Thauschicht. Die Temperatur, welche das Thermometer in t in dem Augenblicke zeigt, in welchem der Beschlag auf a erscheint, ist der Thaupunkt, d. h. die Temperatur für welche die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Nehmen wir an, die Temperatur der Luft sei 30° C., im Moment des Beschlags zeige das Thermometer in t 20° C., so enthält die Luft gerade so viel Wasserdampf, als sie bei 20° C. aufzunehmen im Stande ist, jedes Kubikmeter Luft enthält also 17,4 Gramm Wasserdampf, d. h. 59 Procent des für 30° C. möglichen Wassergehalts.

August's Psychrometer, Taf. 16, Fig. 22, besteht aus zwei an einem und demselben Gestell befestigten Thermometern. Die Kugel des einen, A', ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel A des andern frei bleibt. Dem Leinwandläppchen von A' wird aus einer Glasröhre B stets etwas Wasser zugeführt, sodaß es beständig feucht bleibt. Ist nun die Luft mit Wasserdampf gesättigt, so kann aus der Leinwandhülle von A' nichts verdampfen, beide Thermometer stehen gleich hoch. Ist aber die Luft nicht gesättigt, so findet bei A' eine Verdampfung statt, infolge deren diese Thermometerkugel um so mehr erkaltet wird, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt, je lebhafter also die Verdampfung bei A' ist. Aus der Differenz der beiden Thermometer läßt sich der Wassergehalt der Luft berechnen.

Während man durch die beiden eben besprochenen Instrumente den absoluten Wassergehalt der Luft erfährt, gibt das Saussure'sche Haarhygrometer, Taf. 16, Fig. 23, den relativen Wassergehalt der Luft an, d. h. es gibt an, wie viel Procent des für die herrschende Temperatur möglichen Wassergehalts in der Luft wirklich vorhanden sind. Das Haar c ist mit seinem obern Ende durch ein Zängelchen d gefaßt, das untere Ende aber ist in einer Rinne der Rolle o befestigt, um deren zweite Rinne ein Seidenfaden geschlungen ist, welcher ein kleines Gewicht p trägt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Achse der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher an einem Gradbogen hin- und hergeht, wenn die Rolle nach der einen oder andern Seite gedreht wird. Bei feuchter Luft absorbirt das Haar Wasserdampf, es verlängert sich und die Spitze des Zeigers geht abwärts. In trockener Luft verkürzt sich das Haar, und die Spitze des Zeigers geht in die Höhe. Der Punkt der Skala, in welchem sich der Zeiger einstellt, wenn sich das Instrument in absolut trockener Luft befindet, wird mit 0, derjenige dagegen, in welchem er sich in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Luft einstellt, wird mit 100 bezeichnet und der Zwischenraum in 100 gleiche Theile getheilt.

Mit Hülfe dieser Instrumente hat man gefunden, daß im Sommer durchschnittlich der Wassergehalt der untern Luftschichten bei Sonnenaufgang am geringsten ist. Er nimmt dann rasch zu bis 9 Uhr morgens, wo er wieder zu sinken beginnt, weil ein aufsteigender Luftstrom nun den Wasserdampf in die Höhe führt, und zwar dauert das Sinken bis gegen 4 Uhr nachmittags. Um 9 Uhr abends erreicht der Wassergehalt der Luft ein zweites Maximum, um dann bis Sonnenaufgang zu sinken.

Im Winter findet nur ein Maximum des Wassergehalts, und zwar um 2 Uhr nachmittags statt, während das Minimum des Wassergehalts auf die Zeit des Sonnenaufgangs fällt.

Wir sagen die Luft sei trocken, wenn das Wasser rasch verdunstet, wir nennen sie feucht, wenn befeuchtete Gegenstände langsam trocknen. Feucht nennen wir also die Luft, wenn sie ihrem Sättigungspunkte nahe, trocken dagegen, wenn ihr Wassergehalt weit vom Sättigungspunkte entfernt ist. An einem heißen Sommertage kann sehr viel Wasserdampf in der Luft enthalten sein, und wir nennen sie doch trocken, weil sie bei der herrschenden Temperatur noch weit mehr aufnehmen könnte. An einem Wintertag enthält die Luft weit weniger Wasserdampf, wir nennen sie aber doch feucht, weil sie ihrem Sättigungspunkte nahe ist. In diesem Sinne ist die Luft zur Zeit des Sonnenaufgangs am feuchtesten, obgleich der absolute Wassergehalt derselben zu dieser Zeit am geringsten ist.

Wird die Luft noch unter die Temperatur erkaltet, für welche sie mit Wasserdampf gesättigt ist, also noch unterhalb ihres Thaupunktes, so muß ein Theil ihres Wasserdampfes als Wasser ausgeschieden werden. Bringt man an einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Flasche, welche in einem kalten Keller gestanden hat, ins Freie, so wird sie sich ringsum mit feinen Wassertröpfchen überziehen, sie wird sich beschlagen. Die mit der Flasche zunächst in Berührung kommenden Luftschichten werden so weit erkaltet, daß

sie einen Theil ihres Wassergehalts in Thauform an den kalten Körper absetzen müssen. So entsteht der Thau auf einer Wiese, wenn in einer heitern windstillen Nacht das Gras durch Strahlung gegen den Himmelsraum erkaltet und seine niedrige Temperatur auch den untern mit Wasserdampf beladenen Luftschichten mittheilt. Reif entsteht, wenn die Temperatur des Körpers, an welchen sich der condensirte Wasserdampf ansetzt, unter den Gefrierpunkt erkaltet ist.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel. Frei in der Luft schwebende Nebel werden Wolken genannt. Unter den unendlich mannichfaltigen Gestalten der Wolken hat man folgende Hauptformen unterschieden:

1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus zarten locken- oder federartigen Fasern. In Fig. 9, Taf. 15, welche die wichtigsten Wolkenformen darstellt, sieht man die Federwolken in der Ecke oben rechts, bis herunter wo die zwei Vögel schweben.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter der Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen. Diese Wolken zeigen sich vorzugsweise im Sommer; manchmal thürmen sie sich zu malerischen Gruppen auf und bieten dann von der Sonne beschienen den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen, in unserer Figur unter dem cumulus, welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit großer Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannichfaltige Weise ineinander über; solche Uebergangsformen werden als cirro-cumulus, cirro-stratus und cumulo-stratus bezeichnet. Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifigen Haufenwolken über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbenton überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in Fig. 9 links), übergehen.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Nebelbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sie Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen.

Die Instrumente, welche dazu dienen, die Regenmenge zu messen, werden Ombrometer, Regenmesser genannt. Taf. 16, Fig. 24 stellt einen Regenmesser der einfachsten Art dar. Der Regen fällt in das Blechgefäß, dessen obere freie Oeffnung einen Flächeninhalt von 500 Quadratcentimetern hat. Aus diesem fällt das Wasser durch eine Oeffnung von 1 Centimeter Durchmesser in ein Reservoir, aus welchem es jeden Tag um 2 Uhr nachmittags durch einen Hahn abgelassen und in dem graduirten Glascylinder, Fig. 25, aufgefangen wird. Die Theilung des Glascylinders ist so eingerichtet, daß man an derselben ablesen kann, wie hoch mittels der im Laufe der letzten 24 Stunden gefallenen Regenmenge eine Fläche von 500 Quadratcentimetern bedeckt worden wäre. In diesem Sinne beträgt die jährliche Regenmenge zu

Lissabon	25	pariser Zoll.
Dover	44	„ „
London	23	„ „
Paris	21	„ „
Regensburg	21	„ „
Bergen	83	„ „
Petersburg	17	„ „
Rom	29	„ „

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und in Norwegen herrschen die Herbstregen, in Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden, herrschen die Sommerregen vor. Die Sommerregen fehlen fast ganz im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Spanien und Portugal u. s. w.

Die Anzahl der Regentage nimmt in Europa von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	120	Regentage.
„ mittlern „	146	„
„ nördlichen „	180	„

Wenn im nördlichen Europa die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens ab.

In den Tropen ist die Regenmenge im allgemeinen sehr bedeutend. Sie beträgt zu

Bombay	74 Zoll	Rio de Janeiro	56 Zoll
Kandi	69 „	San-Domingo	101 „
Sierra-Leona	81 „	Havana	86 „

In denjenigen Ländern, welche in der Region der Passate liegen, treten periodische Regen auf. In der trockenen Jahreszeit, während die Sonne auf der andern Hemisphäre steht, ist der Himmel meist heiter und es regnet selten; die Regenzeit tritt ein, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert. In der Mitte der Regenzeit regnet es von 9 Uhr morgens bis 4 Uhr nachmittags, des Nachts aber ist der Himmel heiter. Zu Anfang und gegen Ende der Regenzeit wird die Zeit des Tags, in welcher es regnet immer kürzer. Diese Regenschauer sind meist von Blitz und Donner begleitet.

An der steilen Westküste von Vorderindien (Malabar) fällt die Regenzeit mit der Zeit unsers Sommers zusammen, während auf der Ostküste (Koromandel) die Regenzeit mit unserm Winter zusammenfällt.

In der Region der Calmen finden fast täglich die heftigsten Regengüsse statt. Die Sonne geht fast immer bei heiterm Himmel auf, gegen Mittag bilden sich einzelne Wolken, welche immer dichter werden, bis ihnen endlich unter heftigen Windstößen und elektrischen Entladungen eine ungeheuere Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk, und die Sonne geht meist bei heiterm Himmel unter.

Die Karte Taf. 14, Fig. 3 soll dazu dienen, ein Bild von der Vertheilung des Regens auf der Erdoberfläche zu geben, und zwar ist die Schattirung um so dunkler, je größer die Regenmenge des entsprechenden Ortes ist.

Bei niedriger Temperatur geht der Regen in Schnee über. Wenn bei ruhiger Luft spärliche Schneeflocken fallen, so zeigen dieselben überraschend regelmäßige Krystallformen. Fig. 9—12 auf Taf. 14 zeigen einige der häufigsten Formen der Schneekrystalle, aus welchen man ersieht, daß sie sich im wesentlichen auf einen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach dann die Schneekryställchen dem hexagonalen Krystallsystem (dem System des Bergkrystalls) angehören.

Die Graupelkörner sind gewissermaßen kleine Schneebällchen, sie bestehen aus zusammengeballten Eisnädelchen.

Die Hagelkörner sind meist weit größer als die Graupelkörner. Sie bestehen aus durchsichtigem, oft strahlig gebildetem Eise, in dessen Mitte sich ein undurchsichtiges Graupelkorn befindet. Die Bildung der Hagelkörner ist wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß Graupelkörner durch eine sehr hohe und dichte Wolke

hindurchfallen, deren Bläschendampf, ohne seinen flüssigen Zustand zu verlieren, weit unter 0° erkaltet ist. Wird dann die Erstarrung durch die Graupelkörner eingeleitet, so erfolgt sie so massenhaft, daß sich die Graupelkörner mit einer dicken Eisschicht überziehen.

Die atmosphärischen Lichterscheinungen.

So durchsichtig die Luft auch im Vergleich zu allen festen und flüssigen Stoffen sein mag, so ist sie doch keineswegs vollkommen durchsichtig, was schon daraus hervorgeht, daß alle fernern Gegenstände, namentlich aber entfernte Gebirge mit einem zarten blauen Schleier überzogen scheinen (Luftperspective). Um die Größe der Lichtabsorption in der Atmosphäre zu messen, hat Saussure eine Vorrichtung construirt, welche er Diaphanometer nannte. Es besteht aus zwei weißen Scheiben a und b Fig. 14, Taf. 16, deren größere 6 Fuß im Durchmesser hat, während der Durchmesser der kleinern zwölfmal kleiner ist. In der Mitte der erstern ist ein schwarzer Kreis von 2 Fuß Durchmesser, auf der letztern ist ein schwarzer Kreis von zwölfmal kleinerm Durchmesser aufgesetzt. Beide Scheiben werden dicht nebeneinander aufgestellt. Man wird sich nun auf eine Strecke e entfernen müssen, damit der kleine schwarze Kreis auf der Scheibe b aufhört sichtbar zu sein; damit aber der größere schwarze Kreis auf der Scheibe a verschwindet, muß man sich um eine weit größere Strecke E entfernen. Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so müßte offenbar $E = 12$ e sein. In der That aber findet man, daß $E < 12$ e, und zwar um so kleiner als die Luft weniger durchsichtig ist. Bei einem in der Nähe von Zürich angestellten Versuch fand man $E = 10{,}3$ e. In der Nähe des Monte-Rosa, bei einer Höhe von 12000 Fuß über dem Meere, fand man $E = 11{,}9$ e. In der Höhe ist also die Luft weit durchsichtiger als in der Tiefe. Uebrigens ändert sich die Durchsichtigkeit der Luft an einem und demselben Orte von einem Tag zum andern, wie schon aus dem veränderten Ansehen der Landschaft hervorgeht.

Die unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft hat darin ihren Grund, daß die Lufttheilchen selbst, sowie die in der Luft schwebenden Nebelbläschen, Staubtheilchen u. s. w. das sie treffende Licht zum Theil reflectiren. Von dieser Reflexion rührt aber auch die allgemeine Tageshelle her, vermöge deren bei Tage auch noch im Schatten eine bedeutende Helligkeit herrscht. Bei unbewölktem Himmel erscheint uns der Himmel hellblau, weil alle Theilchen der Luft Licht und zwar vorzugsweise blaues Licht reflectiren. Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte sie kein Licht reflectiren, im Schatten müßte absolute Dunkelheit herrschen und das Himmelsgewölbe könnte uns nicht blau, es müßte uns vollkommen schwarz erscheinen.

Damit hängt auch die Dämmerung zusammen. Nach dem Untergang der Sonne bleibt es noch eine Zeit lang ziemlich hell, weil wir noch reflectirtes Licht vom westlichen Himmel empfangen.

Ein Lichtstrahl erleidet sowol beim Uebergang aus einem luftleeren in einen lufterfüllten, als auch beim Uebergang aus einem Raum, der mit verdünnterer Luft gefüllt ist, in einen solchen, welcher verdichtetere Luft enthält, eine Ablenkung in der Art, daß er dem Einfallslothe genähert wird. Daraus folgt nun auch, daß das Licht der Sterne nicht in gerader Linie zu uns kommen kann, da es die gegen die Erdoberfläche hin immer dichter werdende Atmosphäre durchlaufen muß. Aus dem luftleeren Weltraum in die oberste äußerst verdünnte Luftschicht eindringend, wird der vom Stern s, Fig. 15, Taf. 16, kommende Lichtstrahl sf etwas von seiner Richtung abgelenkt, und zwar so, daß er den Verticalen etwas genähert wird. In jeder folgenden tiefern und deshalb dichtern Luftschicht wird er in diesem Sinne noch weiter abgelenkt, sodaß der Weg sfedcba beschreibt. Ein in a befindliches Auge erblickt also den Stern in der Richtung abs', der Stern erscheint also durch die atmosphärische Refraction gehoben. Die scheinbare Hebung des Sterns durch die atmosphärische Refraction ist natürlich um so größer, je größer die Zenithdistanz des Sterns ist, sie beträgt 48,9″ für eine Zenithdistanz von 40°, und 5′ 19″ für eine Zenithdistanz von 80° u. s. w.

Es kommt häufig vor, daß die Temperatur der untern Luftschichten vom Boden aus nach oben bis zu einer gewissen Höhe hin wächst und daß dann erst bei fortwährendem Steigen ein Sinken der Temperatur eintritt. In solchen Fällen muß natürlich die Dichtigkeit der Luft vom Boden aus nach oben sehr rasch abnehmen, wodurch dann eine merkliche Refraction schon in den untern Luftschichten bedingt ist. Es sei z. B. a Fig. 16, Taf. 16, ein Ort, welcher sich in geringer Höhe über einer Ebene oder über dem Spiegel eines größern Gewässers befindet, t ein etwas tiefer liegender Ort, so wird, wenn die Dichtigkeit der Luft von der Ebene aus nach oben sehr rasch abnimmt, ein Lichtstrahl von t aus nicht in gerader Linie nach a gelangen können, sondern die von t nach a gelangenden Strahlen müssen den Weg der in der Figur verzeichneten krummen Linie tca zurücklegen, von a aus wird man also den Thurm t nach der Richtung at′ hin sehen, er scheint uns also höher zu liegen, als es in der That der Fall ist.

Solche durch ungewöhnliche atmosphärische Refraction veranlaßte Hebungen werden mit dem Namen der Kimmung bezeichnet. Wenn man von Ramsgate aus mit dem Fernrohre nach Dover hinschaut, so erblickt man bei schönem Wetter die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses; der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergrücken verborgen. Manchmal aber wird durch die Kimmung das ganze Schloß bis zum Boden sichtbar. Von Konstanz aus sieht man öfters mit einem kleinen Handfernrohr Schiffe, welche so weit entfernt sind, daß sie unter gewöhnlichen Umständen in oder noch hinter dem normalen Wasserhorizonte erscheinen würden, durch Kimmung so gehoben, wie es Fig. 17, Taf. 16, darstellt, sodaß nicht allein das ganze Schiff, sondern auch noch sein Spiegelbild im Wasser sichtbar wird.

In diese Kategorie gehört auch die Erscheinung der Fata-Morgana, welche man oft an den Küsten Calabriens und Siciliens wahrnimmt. Die durch Kimmung gehobenen Gegenstände erscheinen oft nicht allein verzerrt, sondern auch in steter Bewegung, was ohne Zweifel daher rührt, daß die Dichtigkeit der Luftschichten unregelmäßig vertheilt und einem steten Wechsel unterworfen ist.

Während die Kimmung dadurch hervorgebracht wird, daß die Dichtigkeit der Luft von unten nach oben außergewöhnlich rasch abnimmt, beruht die unter dem Namen der Luftspiegelung bekannte Erscheinung darauf, daß die auf dem Boden unmittelbar aufliegenden Luftschichten bedeutend heißer und weniger dicht sind als die höhern. Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es nämlich möglich, daß die untern vom heißen Boden erhitzten Luftschichten trotz ihres geringern specifischen Gewichts nicht in die Höhe steigen, sondern ruhig auf dem Boden ausge-

breitet bleiben. Es sei nun ab Fig. 18, Taf. 16, der horizontale Boden, h irgendein erhabener Punkt, so ist klar, daß das Auge bei p zunächst ein directes Bild von h in der Richtung ph sieht. Unter den Strahlen, welche h aussendet, sind aber auch solche, welche, den Weg hilmnp verfolgend und also in der Richtung zp ins Auge gelangend, ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl hi, wenn er auf eine tiefere, weniger dichte Luftschicht trifft, so gebrochen, daß er sich von dem verticalen Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächsttiefere, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger, bis sie endlich fast horizontal in die nächst tiefere und dünnere Schicht nicht mehr eintreten können, sondern eine totale Reflexion erfahren, um endlich in der Richtung np ins Auge zu gelangen.

Die Erscheinung der Luftspiegelung wird in Aegypten und Abessinien häufig beobachtet, wenn der ebene Boden der weiten Thäler durch die glühenden Sonnenstrahlen erhitzt ist. Da der Beobachter außer dem directen auch noch ein Spiegelbild aller erhöhten Gegenstände, der Dörfer, Bäume u. s. w. sieht, so hat er den Eindruck, als ob hier ein See vorhanden wäre. Für die Soldaten der französischen Expedition nach Aegypten war dies eine furchtbare Täuschung, wenn sie durch forcirte Märsche und die Sonnenhitze ermüdet, einen See zu sehen glaubten, dessen Ufer bei ihrer Annäherung immer wieder zurückwichen.

Eine der bekanntesten atmosphärischen Lichterscheinungen ist der Regenbogen, welcher bekanntlich beobachtet wird, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne hinter sich hat. Bei vollem Sonnenschein und hinlänglich starkem Regen sieht man zwei concentrische Regenbogen, einen lichtstärkern innern und einen lichtschwächern äußern. Der Regenbogen ist ein kreisförmiges Farbenband, in welchem die prismatischen Farben in radialer Richtung aufeinanderfolgen, und zwar liegt beim innern Regenbogen das Roth nach außen, beim äußern dagegen liegt das Roth nach innen.

Für den innern Regenbogen beträgt der Radius des rothen Ringes $42^\circ 30'$, der des violetten aber nur $40^\circ 30'$, die Breite des innern Regenbogens ist demnach ungefähr 2 Grad. Für den äußern Regenbogen beträgt der Radius des rothen Ringes 50°, der des violetten $53\frac{1}{2}^\circ$, die Breite des äußern Regenbogens ist demnach ungefähr $3\frac{1}{2}^\circ$. Der Zwischenraum zwischen den beiden Regenbogen beträgt ungefähr $7\frac{1}{2}^\circ$.

Der innere Regenbogen wird durch Sonnenstrahlen gebildet, welche den Tropfen nach einmaliger innerer Spiegelung verlassen, wie man Taf. 15, Fig. 10 sieht, während der äußere Regenbogen seine Entstehung solchen Strahlen verdankt, welche, wie dieselbe Figur zeigt, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassen.

Die Gesammtheit der Sonnenstrahlen, welche als ein paralleles Bündel auf einen Regentropfen fällt, wird nach einmaliger innerer Spiegelung den Tropfen als ein divergirendes Strahlenbündel verlassen, weshalb schon in geringer Entfernung vom Tropfen der Lichteindruck der vom Tropfen kommenden Strahlen ein verschwindend kleiner sein wird. Nur solche Strahlen können einen merklichen Eindruck hervorbringen, für welche die Divergenz ein Minimum ist, welche also nahezu parallel austreten, und das sind diejenigen Strahlen, welche unter allen austretenden mit den einfallenden Strahlen den kleinsten Winkel machen. Dieses Minimum der Ablenkung SVO, Fig. 10, beträgt für rothe Strahlen $42^\circ 30'$. Da nun aber von OP mit SV parallel ist VOP = SVO, so muß uns der rothe Ring des innern Regenbogens unter einem Winkel von $42^\circ 30'$ erscheinen. Eine ähnliche Betrachtung zeigt auch, warum uns der rothe Ring des äußern Regenbogens unter einem Winkel von 50° erscheint u. s. w.

Wenn der sonst heitere Himmel mit einem leichten Schleier überzogen ist, so sieht man manchmal die Sonne, häufiger aber den Mond mit einem kreisförmigen Ringe von ungefähr 23° Radius umgeben, ungefähr wie es Fig. 19, Taf. 16, darstellt. Der Ring um den Mond erscheint ganz weiß, der um die Sonne schwach gefärbt, und zwar das Roth nach innen. Dieser Ring wird durch die Brechung der Sonnenstrahlen in Eisnädelchen erklärt, welche in der Luft schweben. Diese Eisnädelchen sind kleine sechsseitige Säulchen, an welchen immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenstoßende Seitenflächen einen Winkel von 60° miteinander machen, die also gewissermaßen dreiseitige gleichseitige Prismen bilden, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen aber, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erfahren haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog.

Oft erscheint der erwähnte Lichtring von einem horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher in gleicher Höhe mit der Sonne sich öfters bis zu dieser hin erstreckt. Dieser Streifen ist da am hellsten, wo er den Ring durchschneidet. Diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne, am Umfang des Ringes erblickt, sind die Nebensonnen. Die horizontalen Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln. Bisweilen erscheint im Gipfel des lichten Ringes noch ein heller Berührungsbogen, wie dies gleichfalls in Fig. 19 dargestellt ist.

Außer dem eben besprochenen Ringe von 23° Halbmesser erscheint die Sonne manchmal auch, wenn auch weit seltener, von einem Lichtringe umgeben, dessen Halbmesser 46° beträgt und welcher durch Lichtstrahlen erklärt wird, die in einem Eisprisma das Minimum der Ablenkung erfahren haben, dessen brechender Winkel 90° beträgt, also durch Eisprismen, deren eine brechende Fläche die gerade Endfläche, deren andere aber eine Säulenfläche ist.

Ganz andern Ursprungs als diese Lichtringe sind die Höfe, welche aus mehrern farbigen Ringen bestehen, welche unmittelbar um die Sonne oder den Mond wie eine Glorie herumliegen. Sie sind gleich dem Hofe, welchen man erblickt, wenn man durch eine mit semen lycopodii dünn bestreute Glasplatte nach einer Kerzenflamme schaut, ein Beugungsphänomen. Am prachtvollsten erscheinen die Farben dieser Ringe, wenn sie nicht den Mond oder die Sonne selbst, sondern wenn sie den Schatten umgeben, welchen der Kopf des Beobachters, der die Sonne im Rücken hat, auf eine vor ihm befindliche Nebelwand wirft, wie man dies in gebirgigen Gegenden öfters zu beobachten Gelegenheit hat. Taf. 16, Fig. 20 ist diese Erscheinung dargestellt. Der oft riesenhaft erscheinende Schatten des Beobachters wird als Nebelbild, öfters auch als Brockengespenst bezeichnet. Jeder Beobachter kann nur seinen eigenen mit der Glorie umgebenen Schatten, nicht den anderer sehen. Daß uns dieser Schatten, welcher nicht größer sein kann als der Beobachter selbst, riesenhaft erscheint, ist nur eine optische Täuschung.

Die elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre.

Der erste elektrische Funke, welcher beobachtet wurde, ward auch alsbald mit dem Blitz verglichen und begründete die Ansicht, daß der Blitz ein elektrisches Phänomen sei; diese Ansicht ward noch bestärkt, als man mit Hülfe der Leydener Flasche kräftige Funken erzeugen konnte.

Nachdem Franklin die elektrische Wirkung der Spitzen kennen gelernt hatte, sprach er sich dahin aus, daß man versuchen müsse, mit Hülfe metallischer Spitzen die Elektricität der Gewitterwolken gleichsam herabzuziehen. Diese Idee wurde, ehe Franklin selbst derartige Versuche anstellte, von Dalibard in der Nähe von Paris ausgeführt (1752). Er ließ eine Hütte bauen, auf welcher eine 40 Fuß hohe Eisenstange aufgesetzt wurde, deren unteres isolirtes Ende in die Hütte hineinragte. Als eine Gewitterwolke über der Hütte hinzog, ließen sich aus dem isolirten Ende Funken ziehen und eine elektrische Batterie laden.

Den gleichen Erfolg erhielt Franklin mittels eines mit einer metallenen Spitze versehenen Drachens, nachdem die Schnur durch Regen feucht und dadurch leitend gemacht worden war. De Romas erzielte am untern Ende der Drachenschnur 10 Fuß lange Funken, nachdem er auf den glücklichen Gedanken gekommen war, einen feinen Metalldraht ihrer ganzen Länge nach in die Schnur einzulegen.

Mit Hülfe eines Sammelapparates von der Art, wie ihn Dalibard construirt hatte, kann man nun nachweisen, daß die Gewitterwolken bald mit positiver, bald mit negativer Elektricität geladen sind. Eine elektrische Wolke wirkt aber vertheilend nicht nur auf benachbarte Wolken, sondern auch auf die Erdoberfläche, und häuft namentlich in allen in die Höhe ragenden Gegenständen die ihr entgegengesetzte Elektricität an. Hat diese Anhäufung eine gewisse Grenze erreicht, so erfolgt eine Entladung in Form eines Blitzes, welcher entweder von der Wolke zu einem Gegenstand auf der Erdoberfläche, oder von einer Wolke zu einer benachbarten überschlägt.

Um das Einschlagen des Blitzes zu verhindern, construirte Franklin den Blitzableiter. Das zu schützende Gebäude wird mit einer dasselbe überragenden metallenen Spitze versehen, von welcher aus eine meist eiserne Leitung bis in den feuchten Boden hinabgeht. Mit dieser Leitung müssen alle bedeutenden Metallmassen des Gebäudes, namentlich auch die Wasserrinnen, in leitende Verbindung gesetzt werden. Wenn eine elektrische Wolke über dem Blitzableiter schwebt, so wird die gleichnamige abgestoßene Elektricität durch die metallische Leitung in den Boden entweichen, während die von der Wolke angezogene, ihr entgegengesetzte Elektricität der Spitze zuwandert, um hier beständig auszuströmen, wodurch eine Anhäufung der Elektricität im Hause, und also auch ein Ueberschlagen des Blitzes verhindert wird. Sollte aber dennoch ein Einschlagen des Blitzes eintreten, so folgt er der Leitung bis in den Boden, ohne daß das Gebäude beschädigt wird.

Damit der Blitzableiter seinen Zweck gehörig erfülle, muß die Auffangstange oben gehörig zugespitzt sein, vor allen Dingen aber darf die Leitung von der Spitze bis in den Boden nirgends unterbrochen sein, denn an einer solchen Unterbrechungsstelle könnten elektrische Schläge erfolgen, selbst wenn kein Blitz von oben die Auffangstange trifft. Ein Blitzableiter mit unterbrochener Leitung ist für ein Haus gefährlicher als der gänzliche Mangel eines Blitzableiters.

Taf. 16, Fig. 26 ist die Spitze eines Blitzableiters dargestellt, wie dieselben in Frankreich ausgeführt werden. Auf eine eiserne Stange ist zunächst ein messingener Konus aufgesetzt, in dessen oberm Ende eine Platinspitze eingeschraubt ist. In Deutschland wird die eiserne Spitze des Blitzableiters vergoldet, um das Rosten derselben zu verhüten.

Der Blitzschlag bringt in großem Maßstabe dieselben Wirkungen hervor, welche man beim Entladungsschlag der Leydener Flasche im kleinen beobachtet. Er schmelzt Metalle, zerreißt schlechtleitende Körper, entzündet brennbare und tödtet die getroffenen Thiere. Dem Knall, welcher den Entladungsschlag der Leydener Flasche begleitet, entspricht der Donner, dessen Rollen nur daher rührt, daß bei der meist bedeutenden Länge des Blitzes die einzelnen Partien desselben in verschiedener Entfernung vom Beobachter liegen, der Schall also ungleiche Zeit braucht, um sein Ohr zu erreichen.

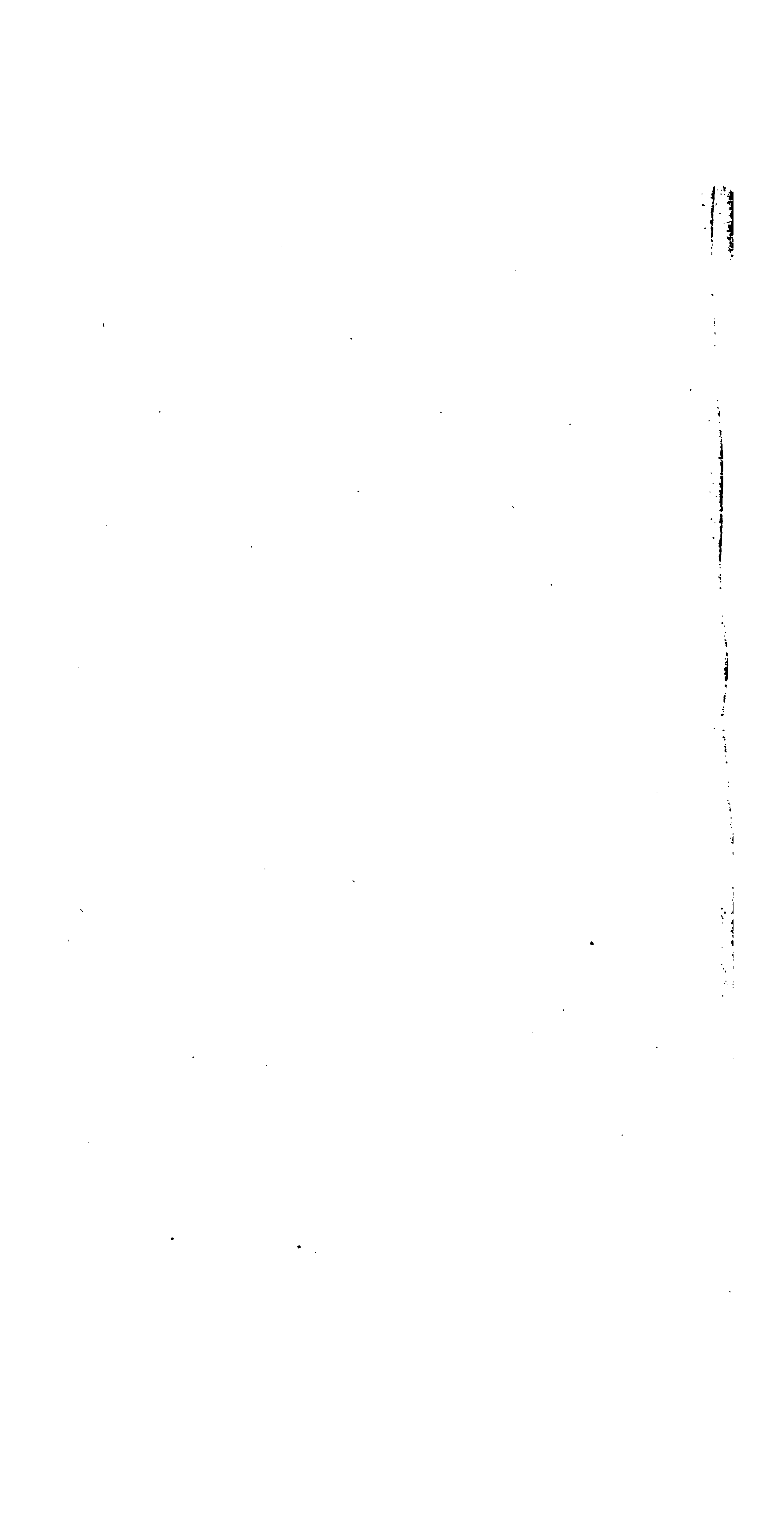
Zu den interessantesten Wirkungen des Blitzschlags gehören die Blitzröhren, welche bei einem äußern Durchmesser von 2—5 Centimeter oft eine Länge von 8—10 Meter haben. Ihre innere Fläche ist vollkommen verglast, die äußere bildet eine mit zusammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruste. Sie entstehen, wenn der Blitz durch eine Sandschicht hindurchschlägt, unter welcher sich in einiger Tiefe unter der Oberfläche eine stagnirende Wasserschicht befindet. Taf. 16, Fig. 27 stellt ein Stück einer solchen Blitzröhre in natürlicher Größe dar.

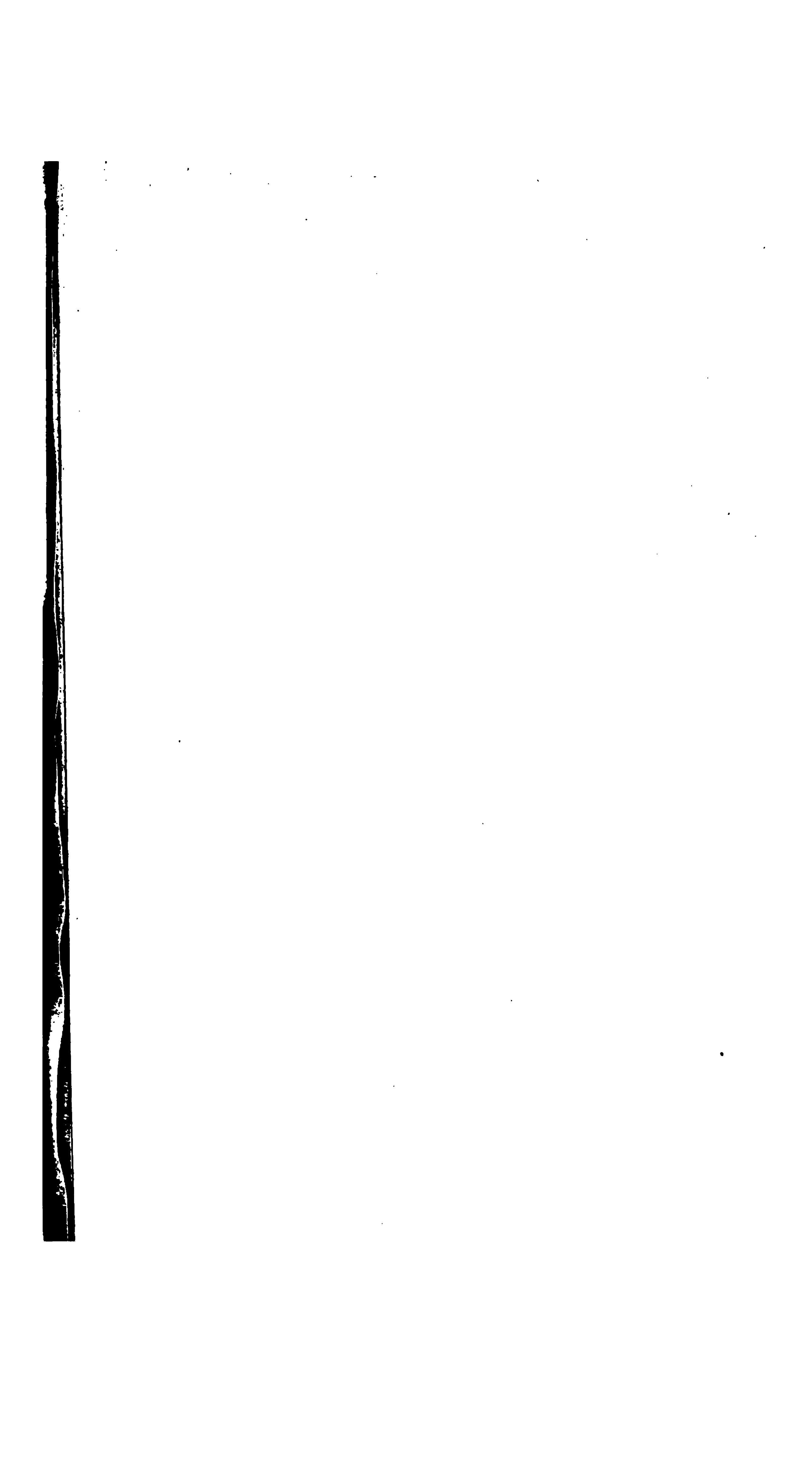
Elektrische Ladungen zeigen sich aber nicht nur, wenn Gewitterwolken am Himmel sind, sondern selbst, wenn auch schwach, bei heiterm Himmel. Um diese Luftelektricität nachzuweisen, wandte Volta das Taf. 16, Fig. 28 erläuterte Verfahren an. In der einen Hand hielt er einen isolirenden Stab, welcher oben mit einer Metallspitze versehen war, von welcher ein dünner Metalldraht zu der innern Belegung einer kleinen Leydener Flasche herabführt, deren äußere Belegung der Beobachter in der andern Hand hält. Wird der isolirende Stab nur kurze Zeit in die Höhe gehalten, wie die Figur zeigt, so nimmt die Flasche eine elektrische Ladung an, welche man leicht mittels eines Elektrometers prüfen kann. Mittels des eben beschriebenen Apparates hat man nachgewiesen, daß bei heiterm unbewölkten Himmel die Luftelektricität stets positiv ist. Sehr stark wird die Luftelektricität bei Nebeln.

Die magnetischen Erscheinungen der Erdoberfläche sind zum größten Theil schon im Text zur physikalischen Abtheilung des „Bilder-Atlas" besprochen worden, weil die Lehre vom Magnetismus ohne Berücksichtigung des Erdmagnetismus gar nicht entwickelt werden kann. Es bleibt deshalb hier nur noch die Besprechung des mit dem Erdmagnetismus in innigster Beziehung stehenden Nordlichts übrig.

Taf. 15, Fig. 12 stellt ein Nordlicht dar, wie es bei uns gewöhnlich beobachtet wird, wenn es seine volle Ausbildung erreicht. Es erscheint dann als ein lichter, verwaschener Bogen, aus welchem grünlich oder röthlich leuchtende Strahlen in die Höhe schießen, welche meist mit einer von West nach Ost gerichteten Bewegung behaftet sind. Der Gipfel des Lichtbogens steht immer nahezu in der Richtung des magnetischen Meridians.

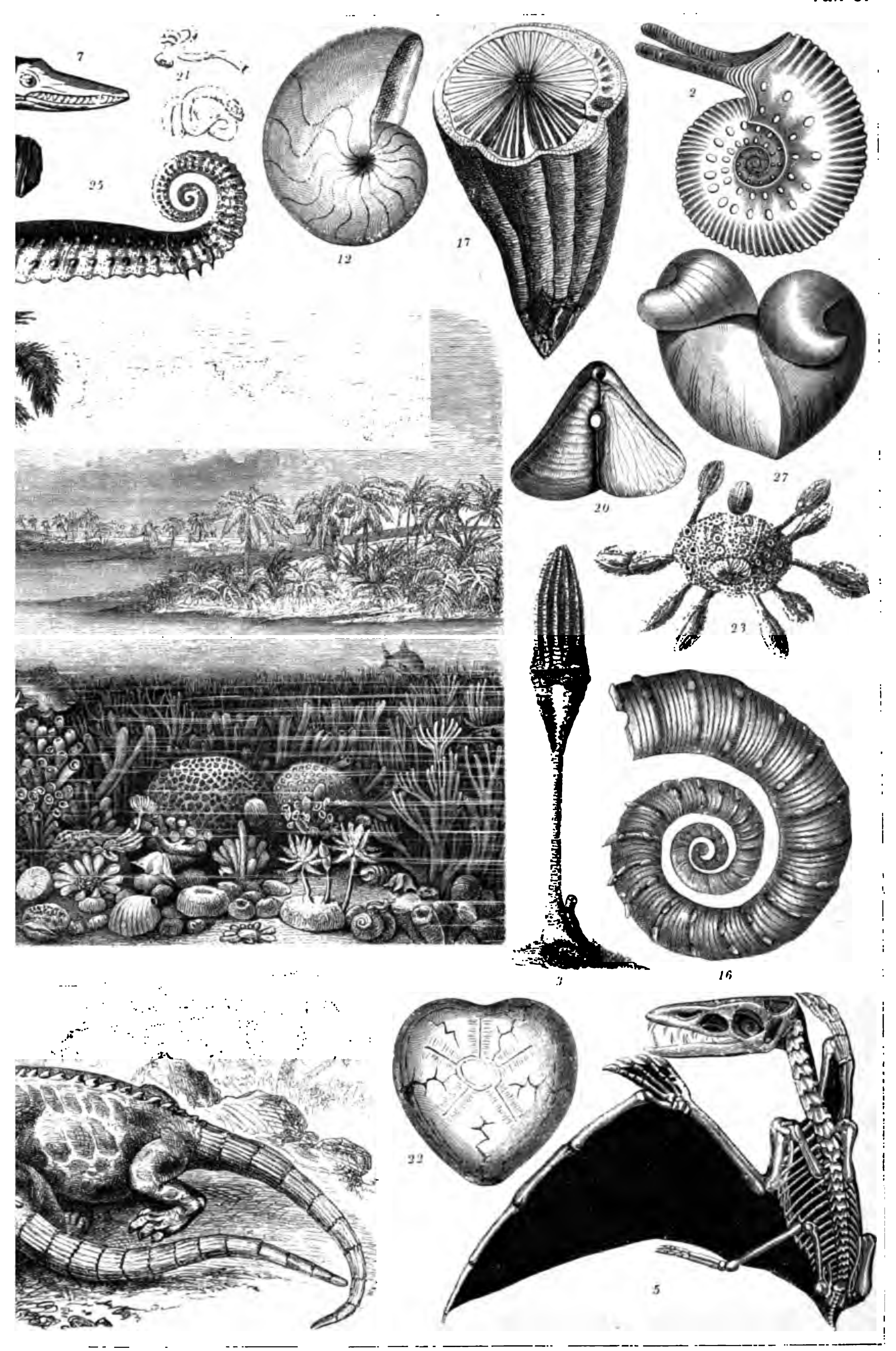
In höhern Breiten steigen die Nordlichter schon hoch über den Horizont herauf, ja sie erreichen das Zenith und gehen selbst über dasselbe hinaus und





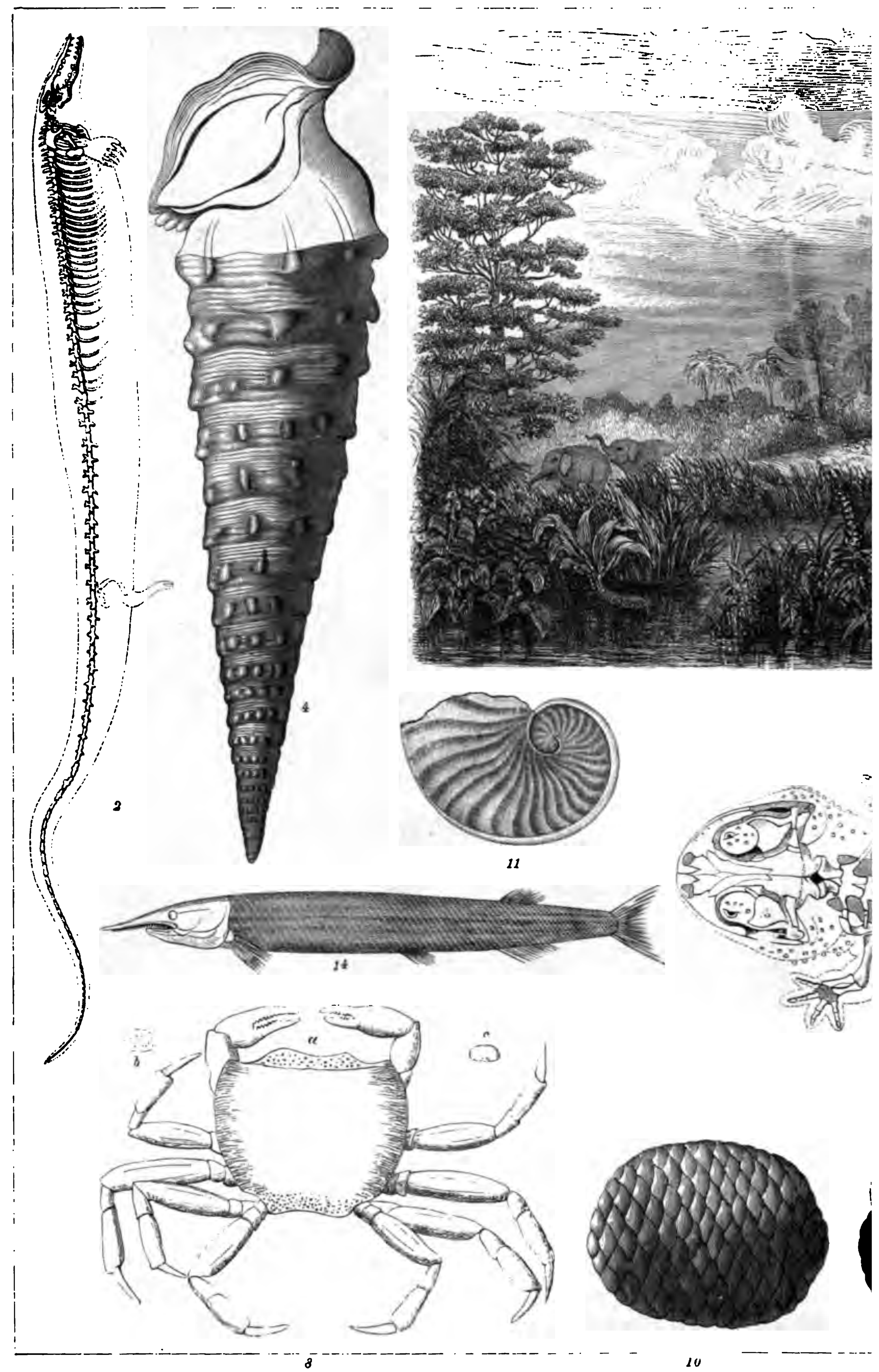


1 Belemnites a giganteus, b hastatus. *2 Ammonites Jason.* *3 Apiocrinites rotundus.* *4 Jurameer mit Korallenb*
9 Rhynchonella lacunosa. *10 Ammonites amaltheus.* 11 Gryphaea *incurva.* *12 Nautilus Danicus.* *13 Cardiu*
19 Iguanodon-Gruppe. 20 Terebratula diphya. 21 Serpula gordialis. 22 Spatangus cor anguinum



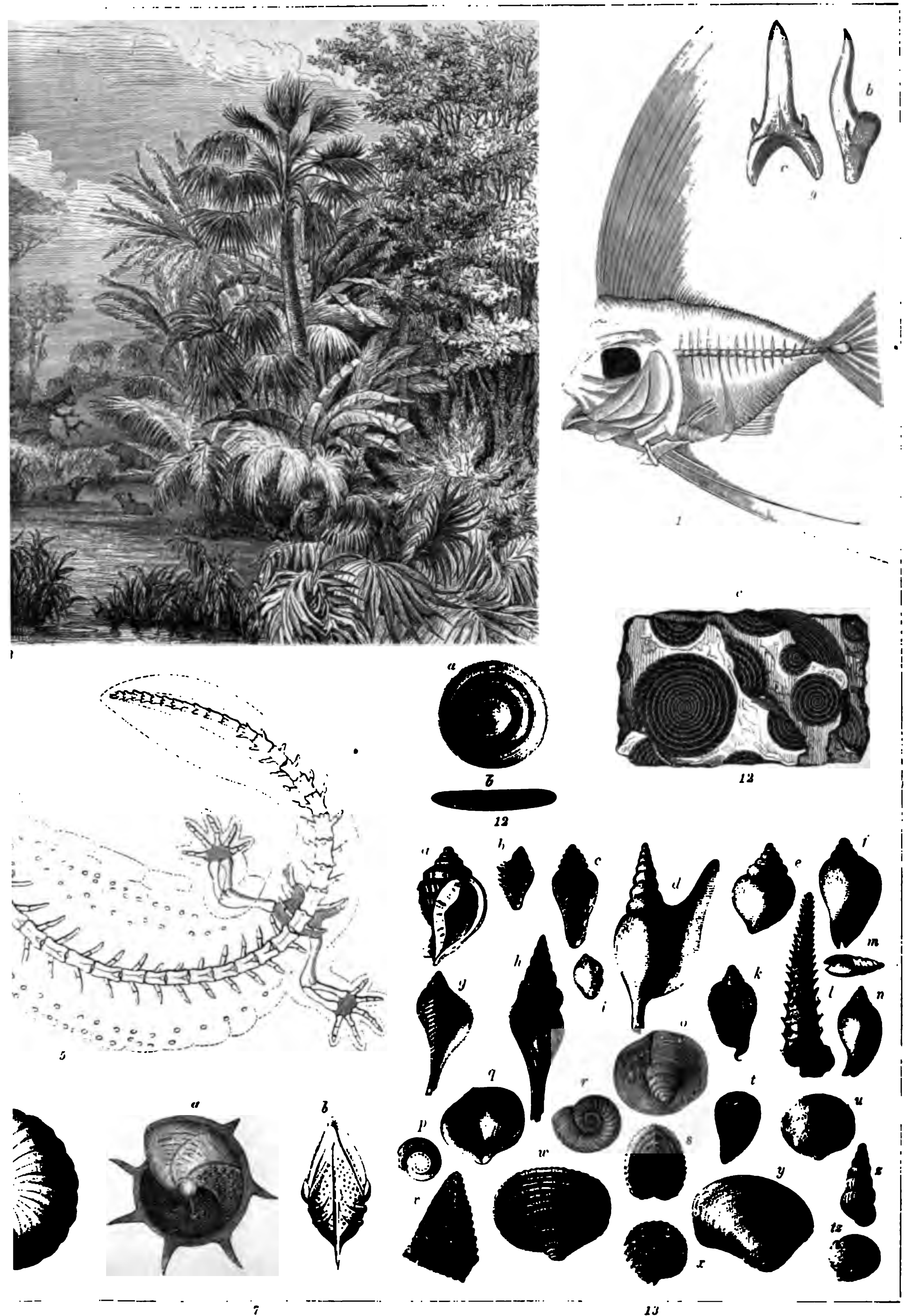
ctylus crassirostris. 6 *Plesiosaurus dolichodeirus.* 7 *Ichthyosaurus communis.* 8 *Koprolith eines Ichthyosaurus.*
a u. b Terebratula plicatilis. 15 *Spondyllus spinosus.* 16 *Crioceras Duvalii.* 17 Hyppurites bioculata. 18 Thecidea-
larigera. 24 *Turrilites catenatus.* 25 *Ancyloceras Matheronianus.* 26 Nonionina-Schalen. 27 Diceras.





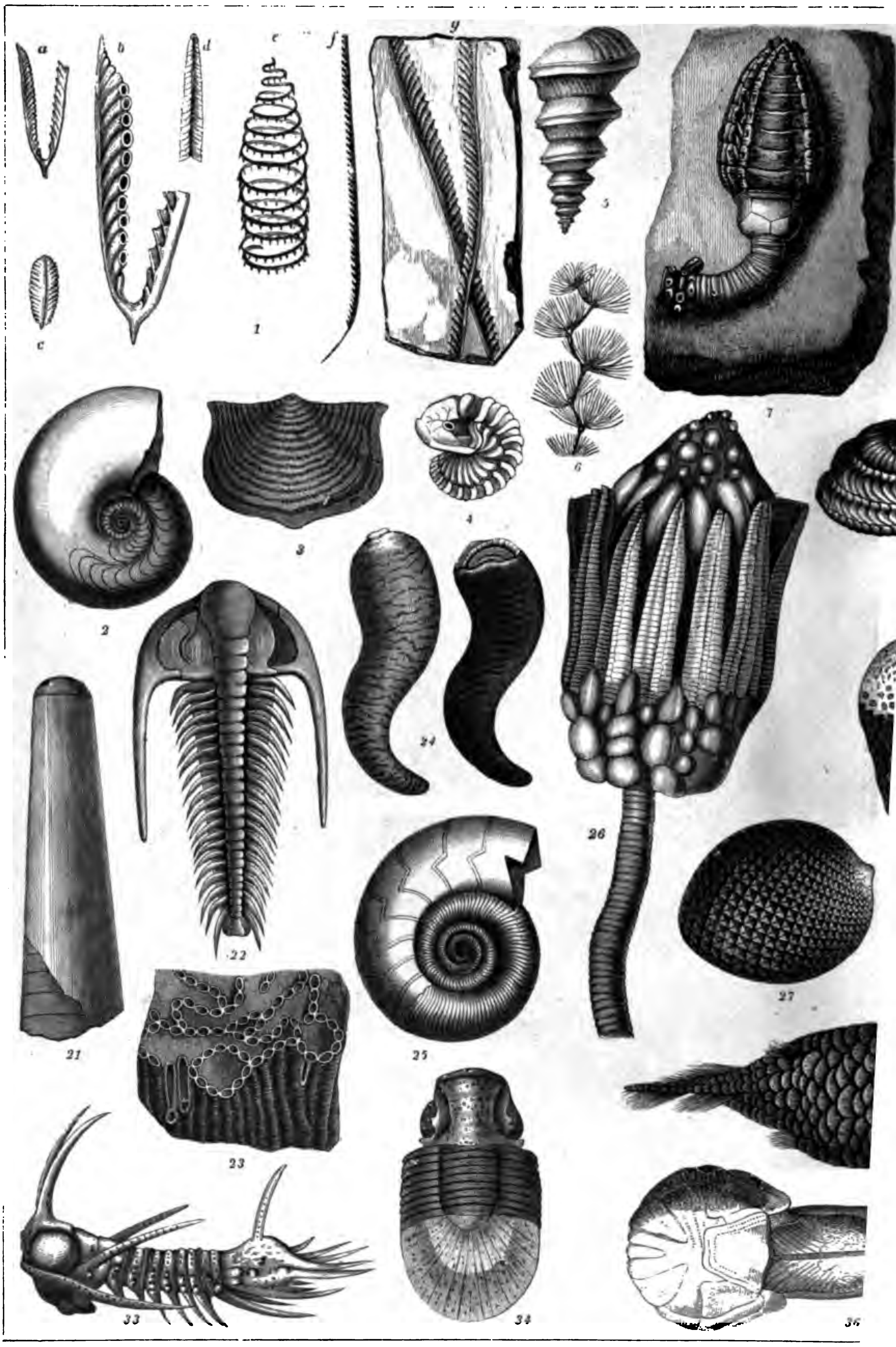
[1] *Semophorus velicans.* [2] *Zeuglodon.* [3] *Landschaft der Miocänzeit.* [4] *Cerithium giganteum.* [5] *Andrias Sch*
[9] *Lamna Hopei (Zahn).* [10] *Zapfen* einer Sequoia. [11] Carinaria Hugardi. [12] *Nummuliten;* [a] *Ans*

Druck und

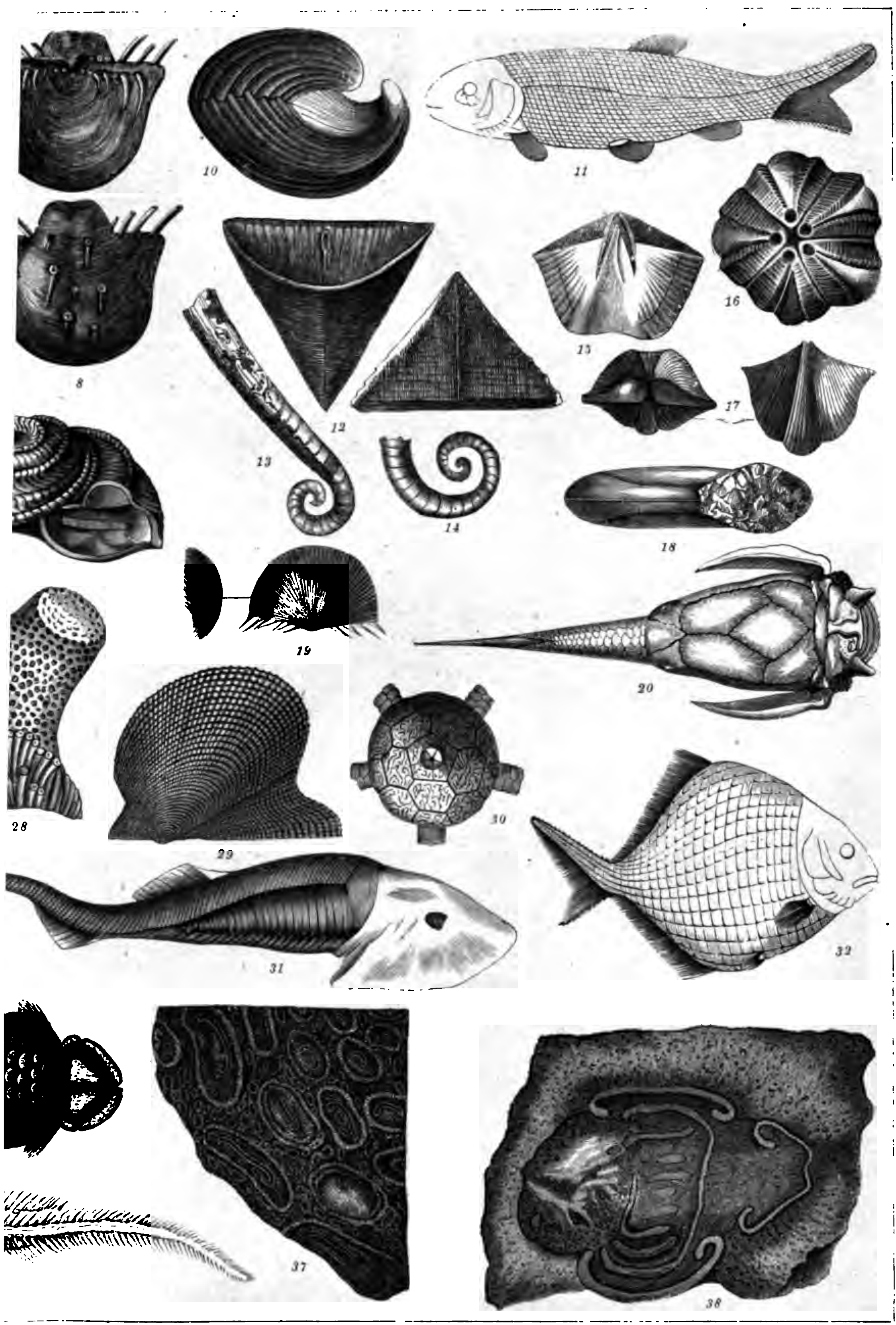


[6] Nummulites planulata. [7] Robulina echinata. [8] Krebse; [a] Telphusa speciosa, [b] Eier einer Daphnia, [c] Cypris faba.
ien, [b] Querbruch, [c] im Gestein. [13] Tertiäre Conchylien aus dem Becken von Paris. [14] Palaeorhynchum latum.

.. Brockhaus in Leipzig.

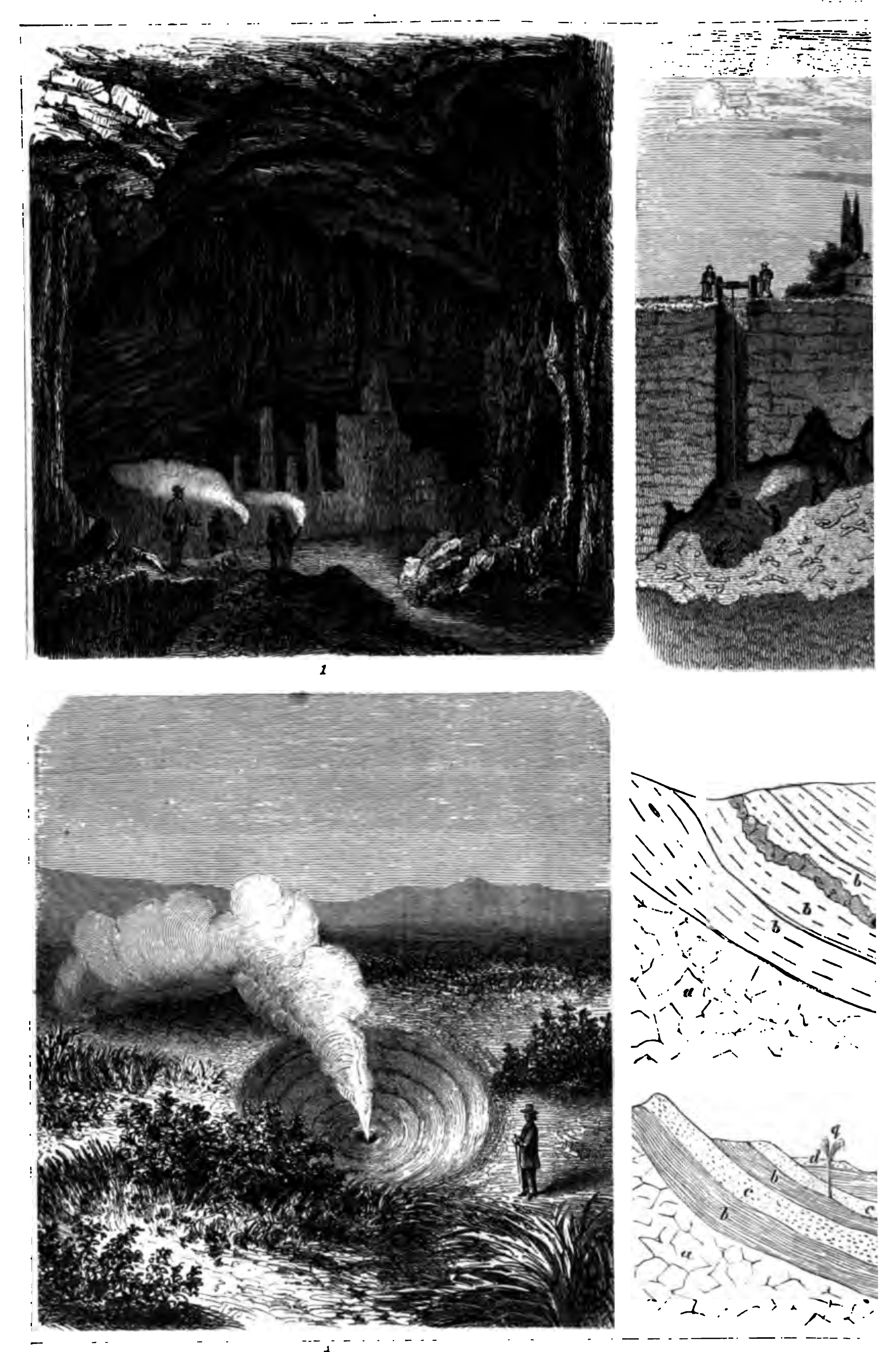


1 a—g Graptolithen. 2 Goniatites Buchii. 3 Leptaena depressa. 4 Calymene Blumenbachii. 5 Murchisonia c
conchidium. 11 Palaeoniscus Freieslebenii. 12 Calceola sandalina. 13 Phragmoceras lituites. 14 Euomphalus
striatella. 20 Pterichtys latus. 21 Orthoceras laterale. 22 Paradoxides Bohemicus. 23 Catenipora lal
28 Calamopora polymorpha. 29 Avicula reticulata. 30 Melocrinus hieroglyphicus. 31 Cephalaspis Lyelli.
37 Tubicaulis solen

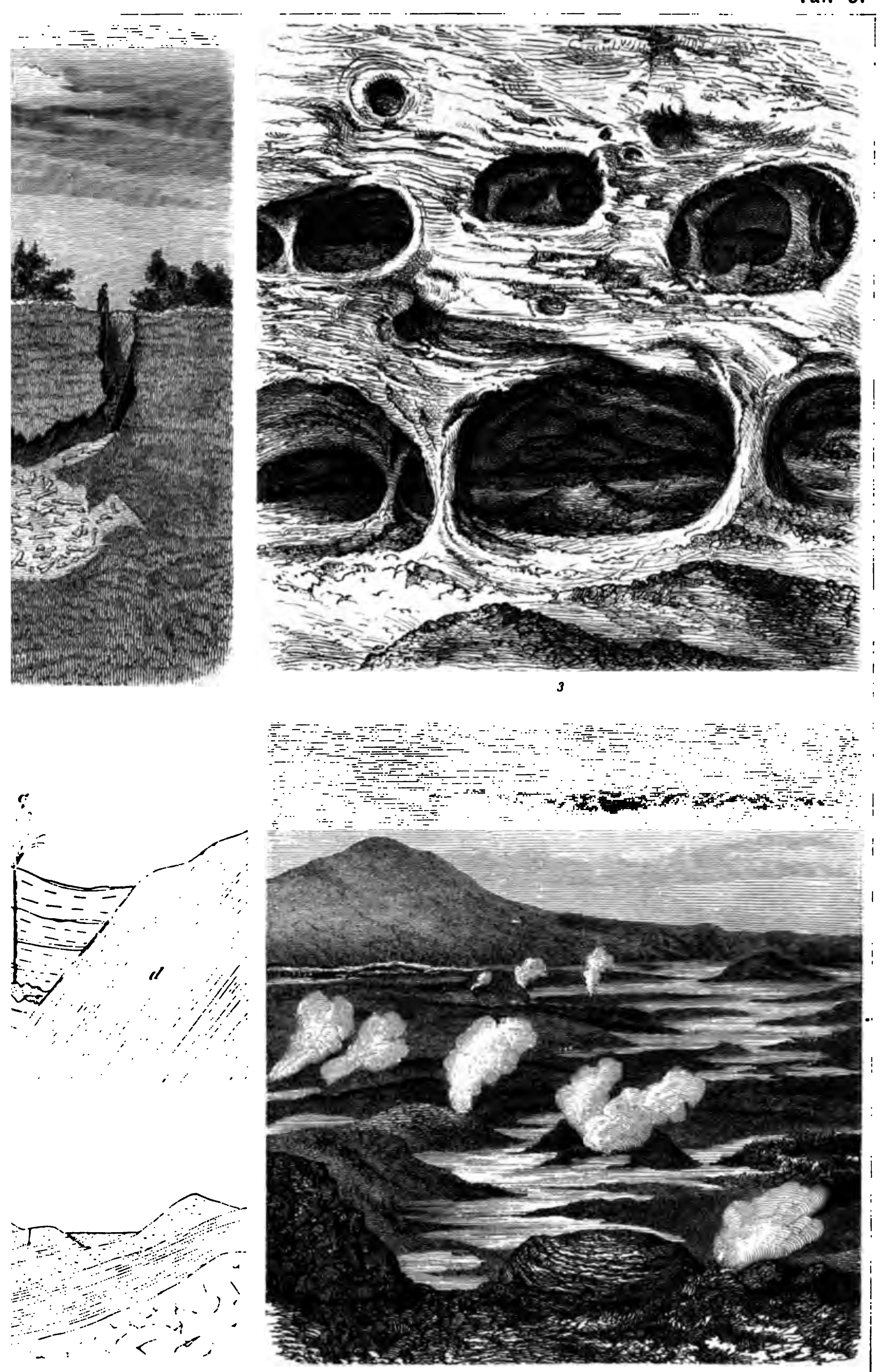


⁶ Oldhamia antiqua. ⁷ Cupressocrinus crassus. ⁸ Productus aculeatus. ⁹ Euomphalus rugosus. ¹⁰ Pentamerus
¹⁵ Spirifer speciosus. ¹⁶ Pentatremites ovalis. ¹⁷ Spirifer calcaratus. ¹⁸ Bellerophon primordialis. ¹⁹ Chonetes
²⁴ Cyathophyllum flexuosum. ²⁵ Clymenia undulata. ²⁶ Hypanthocrinus Buchii. ²⁷ Receptaculites Neptuni.
somus gibbosus. ³³ Arges armatus. ³⁴ Brontes flabelifer. ³⁵ Holoptychius nobilissimus. ³⁶ Cocosteus decipiens.
Psaronius helmintholithus.



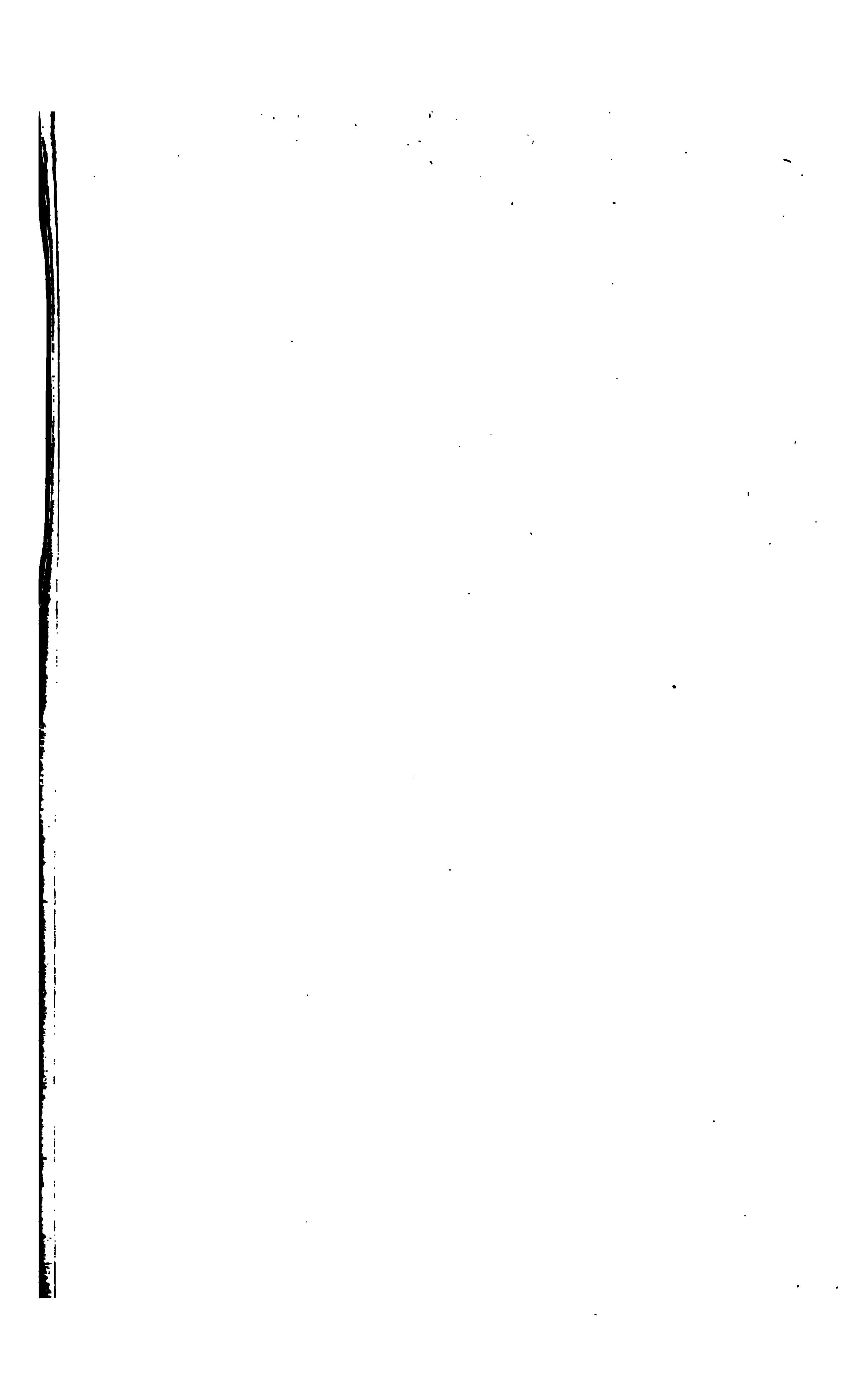


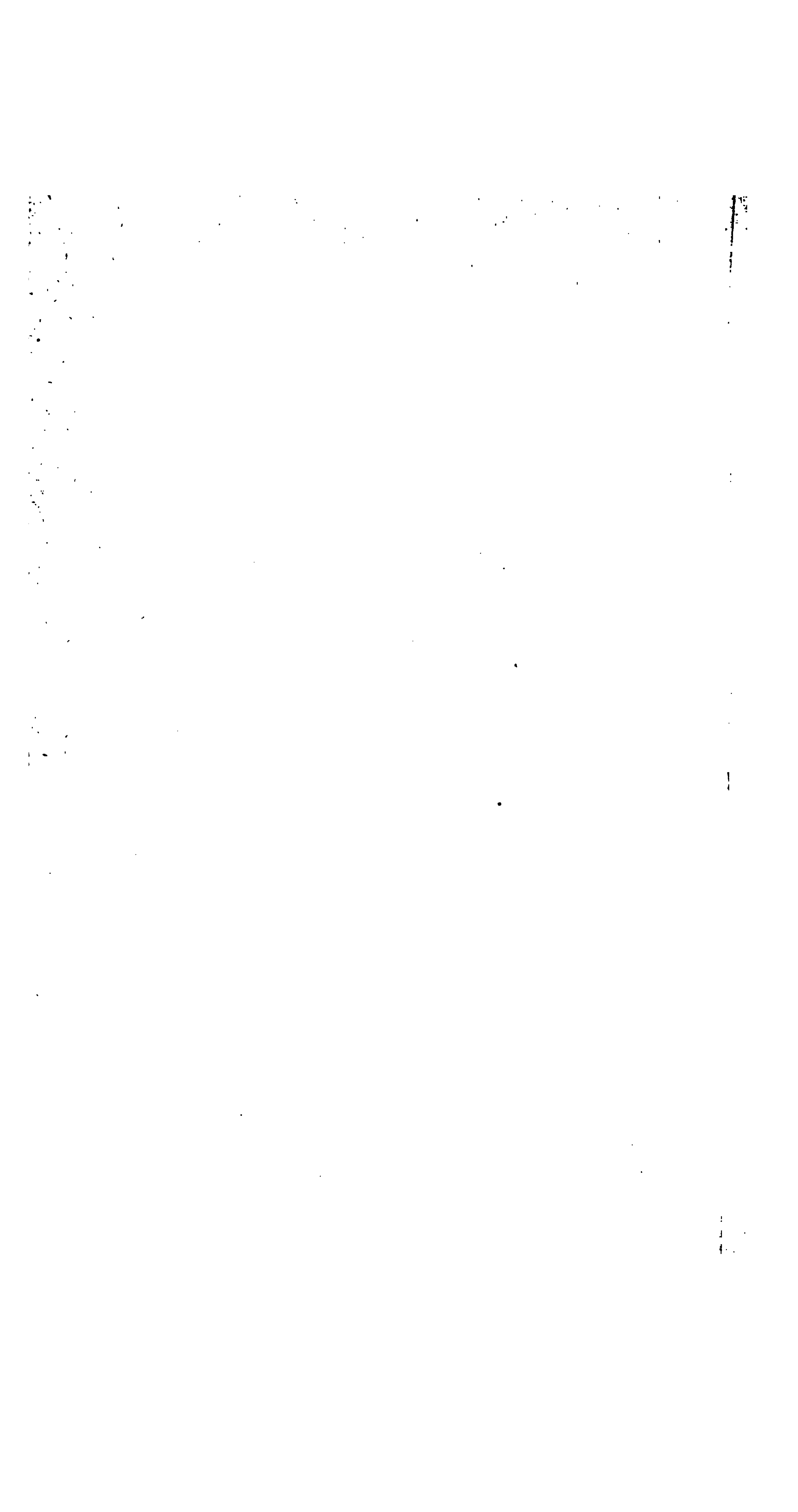
1 Tropfsteinhöhle auf Antiparos. 2 Querschnitt einer zum Theil mit Schlamm und Thierresten ausgefüllten Höhl auf Neuseeland. 5 Idealer Fall artesischer Quelle bei halber Beckenform der Schichten: a Granit oder ein ähnl 6 Ideale beckenförmige Lagerung: a Granit oder ein ähnliches Gestein. b Schichten, welche kein Wasser dur 7 Rotuoa, h



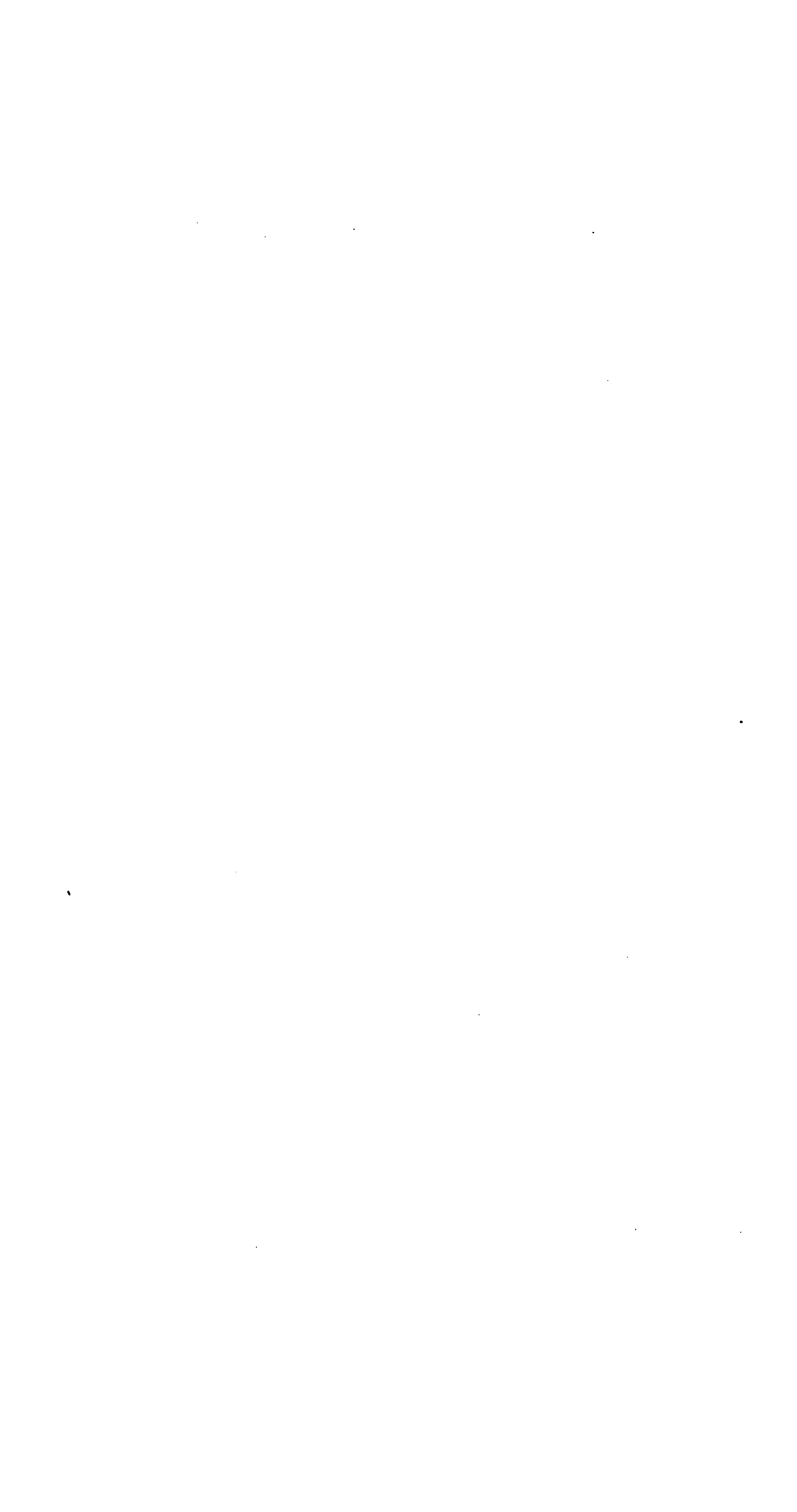
[3] *Höhlenförmige Ausspülungen in den Sandsteinfelsen der Sächsischen Schweiz.* [4] *Dampfquelle Karapiti*
lkstein oder Dolomit mit Höhlen c. [d] *Schiefergestein, welches kein Wasser durchlässt.* *9 Erbohrte Springquelle.*
chten, welche leicht Wasser durchlassen. [d] *Beliebige aufgelagerte Schichten.* *9 Erbohrte artesische Quellen.*
Neuseeland.

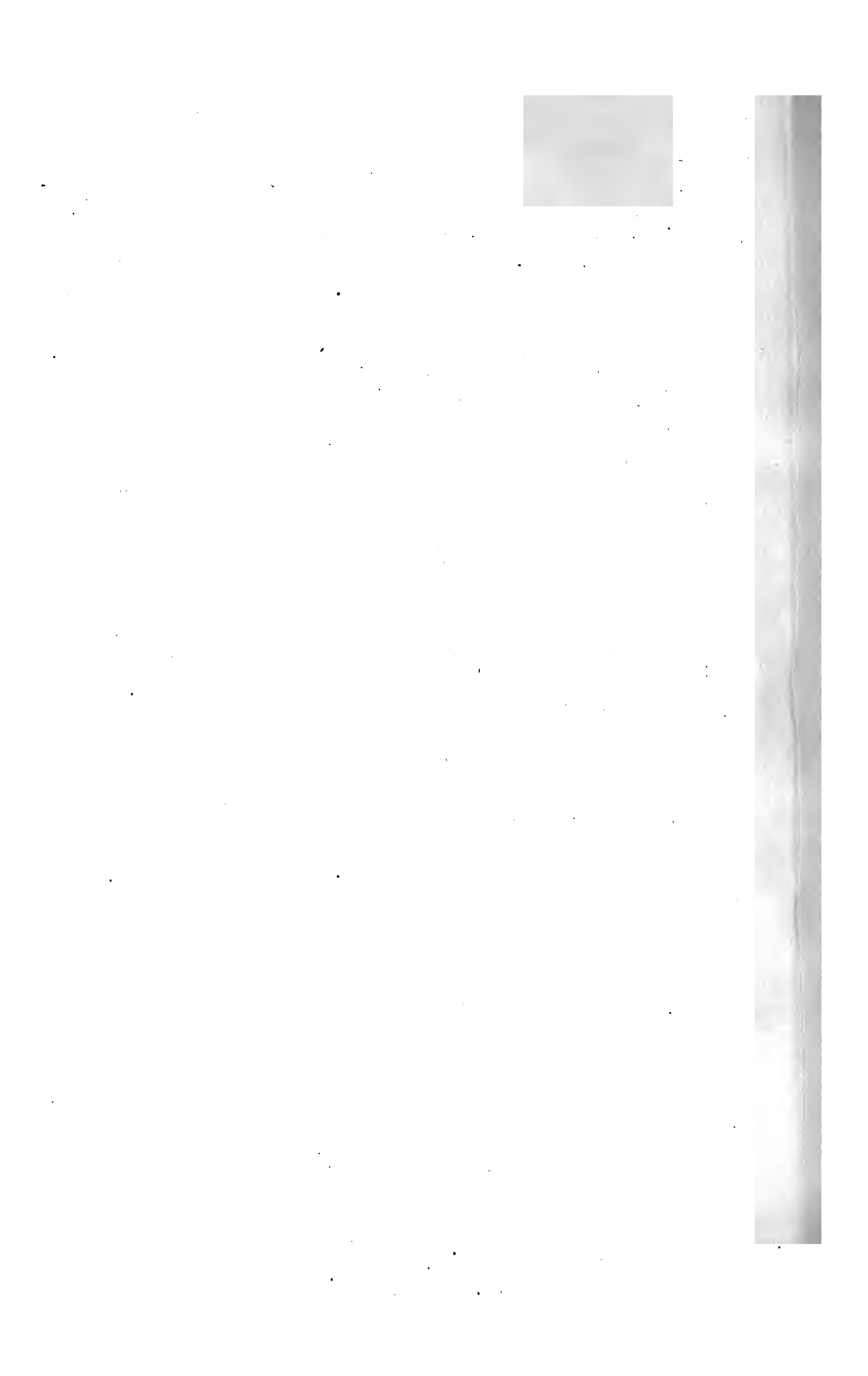
us in Leipzig.



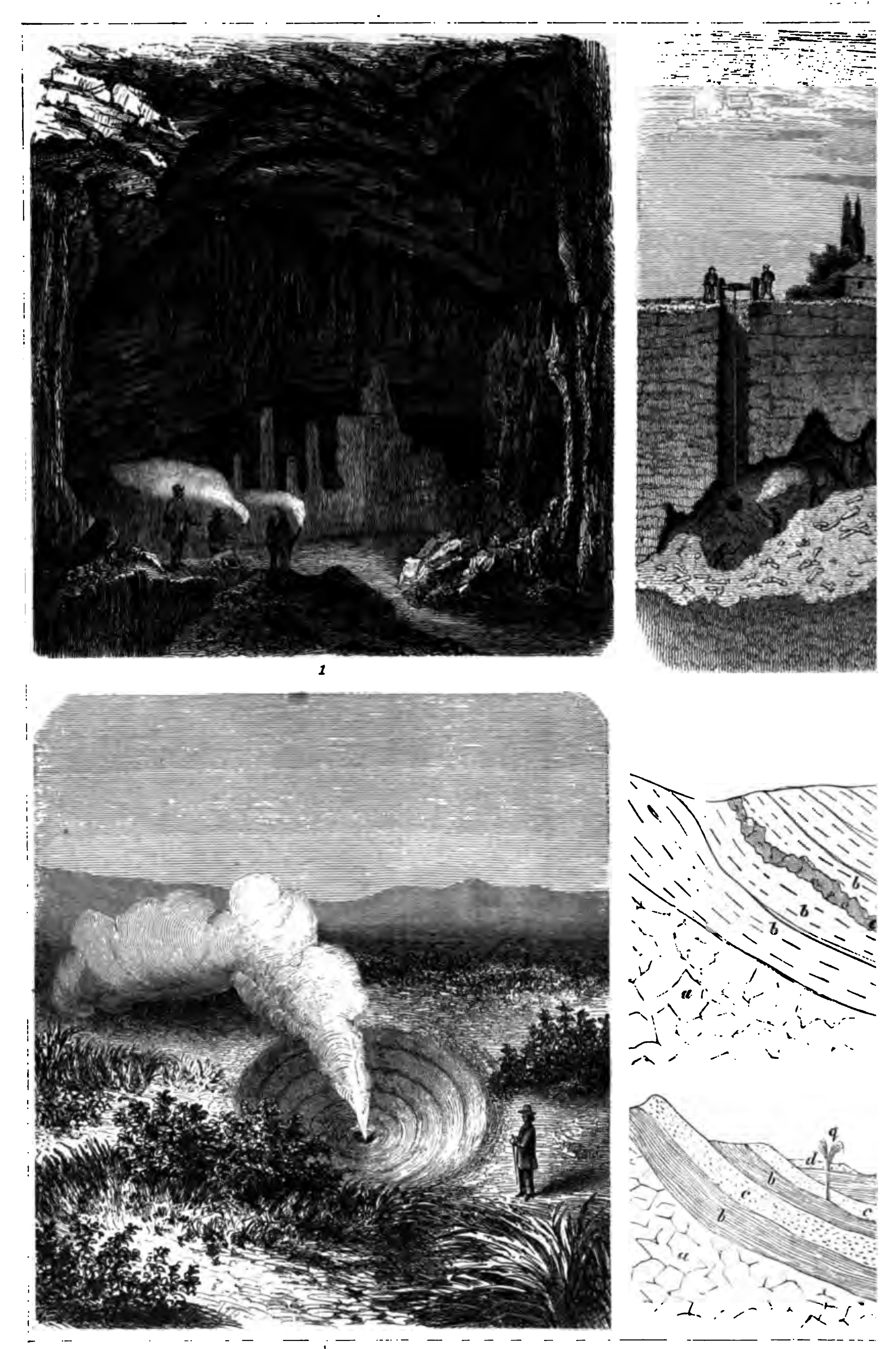




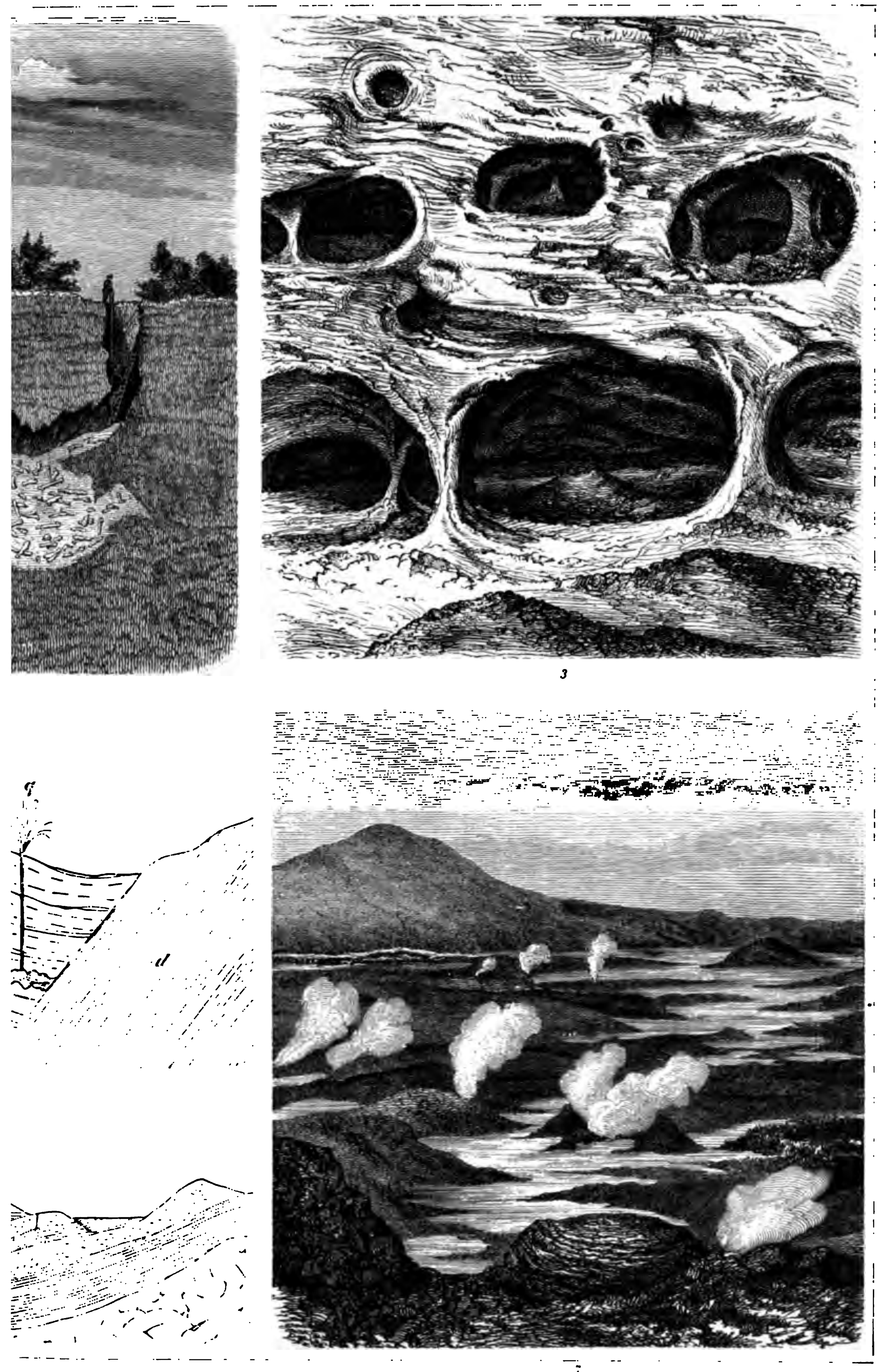




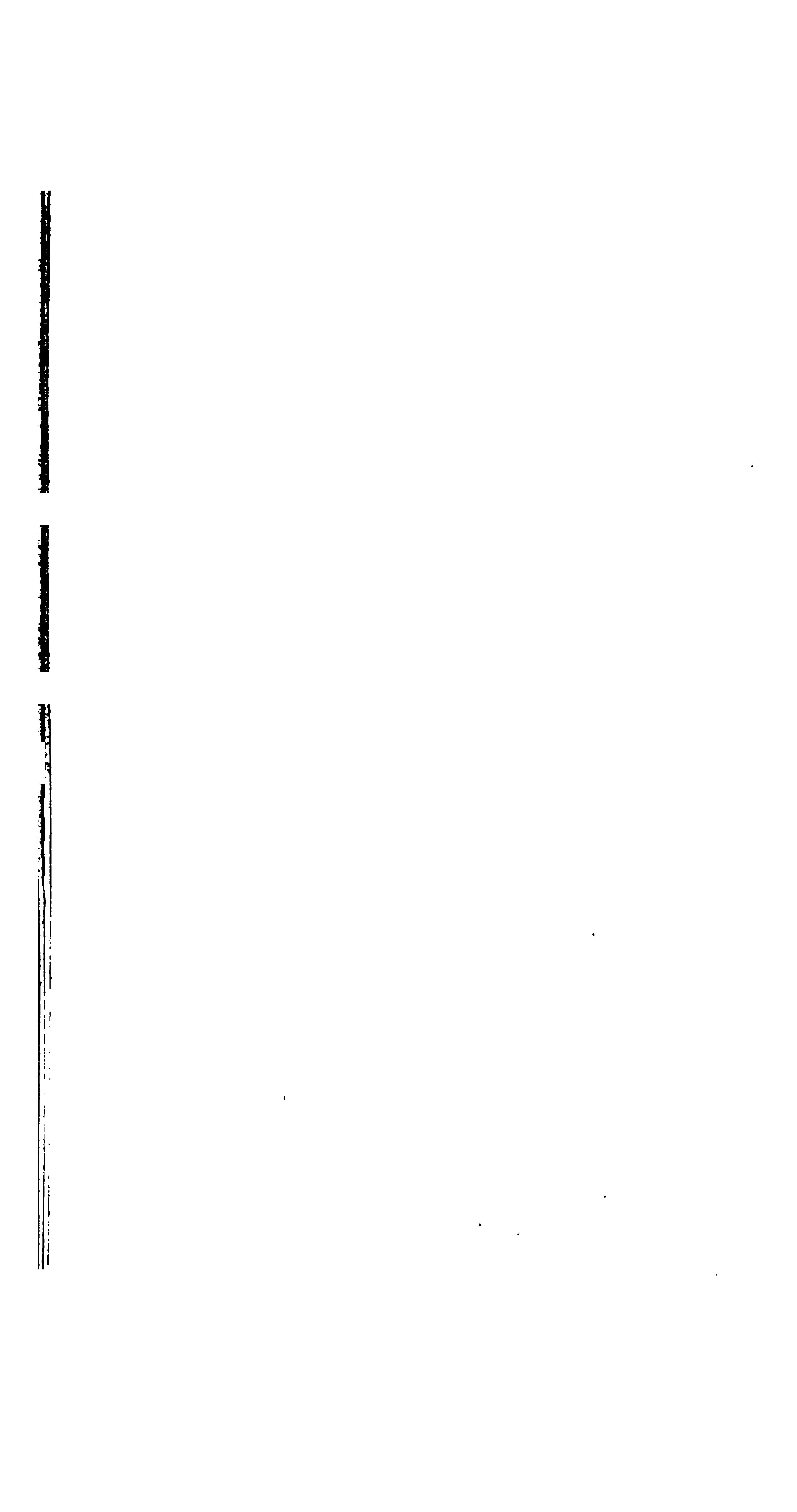


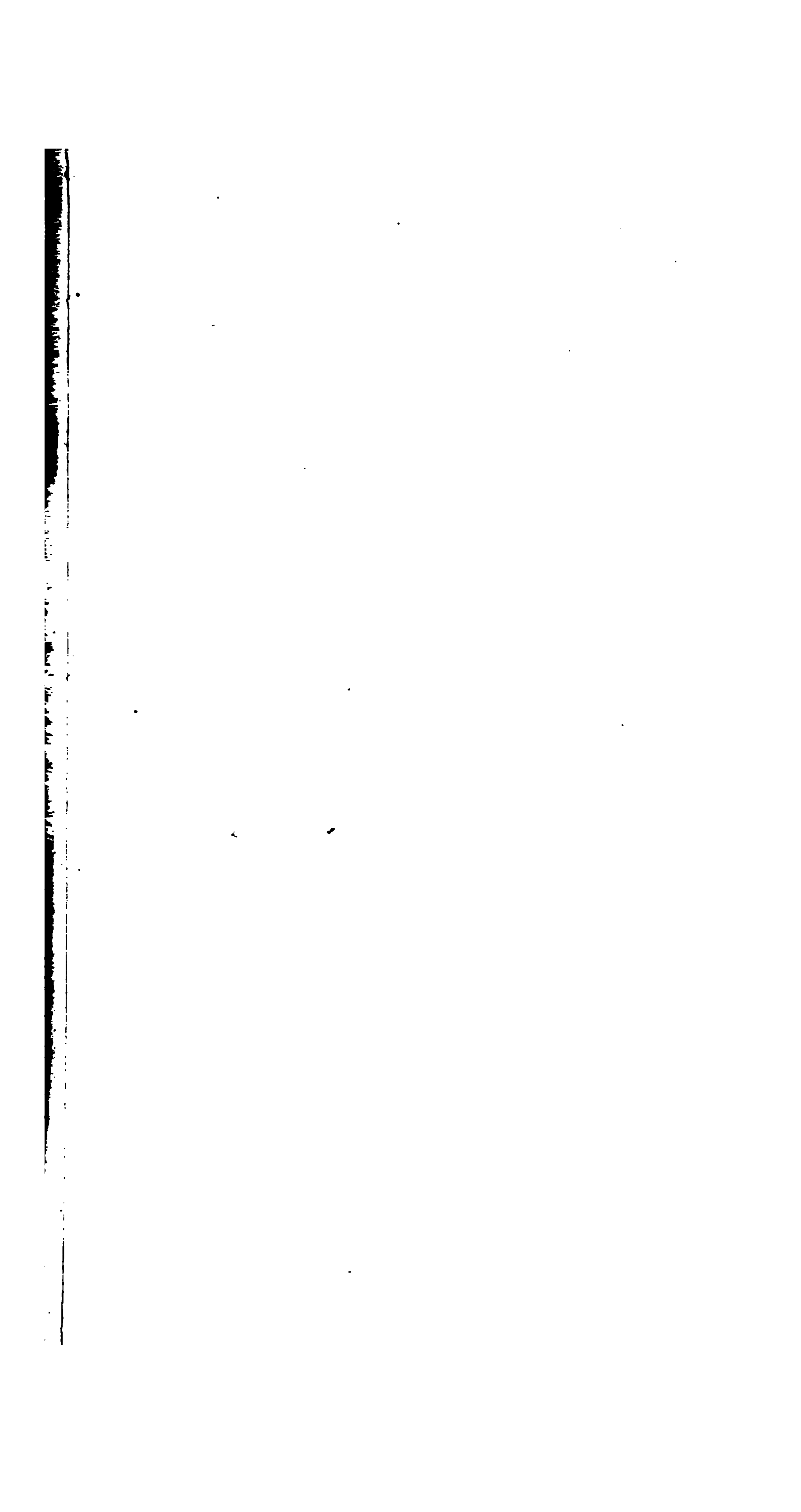


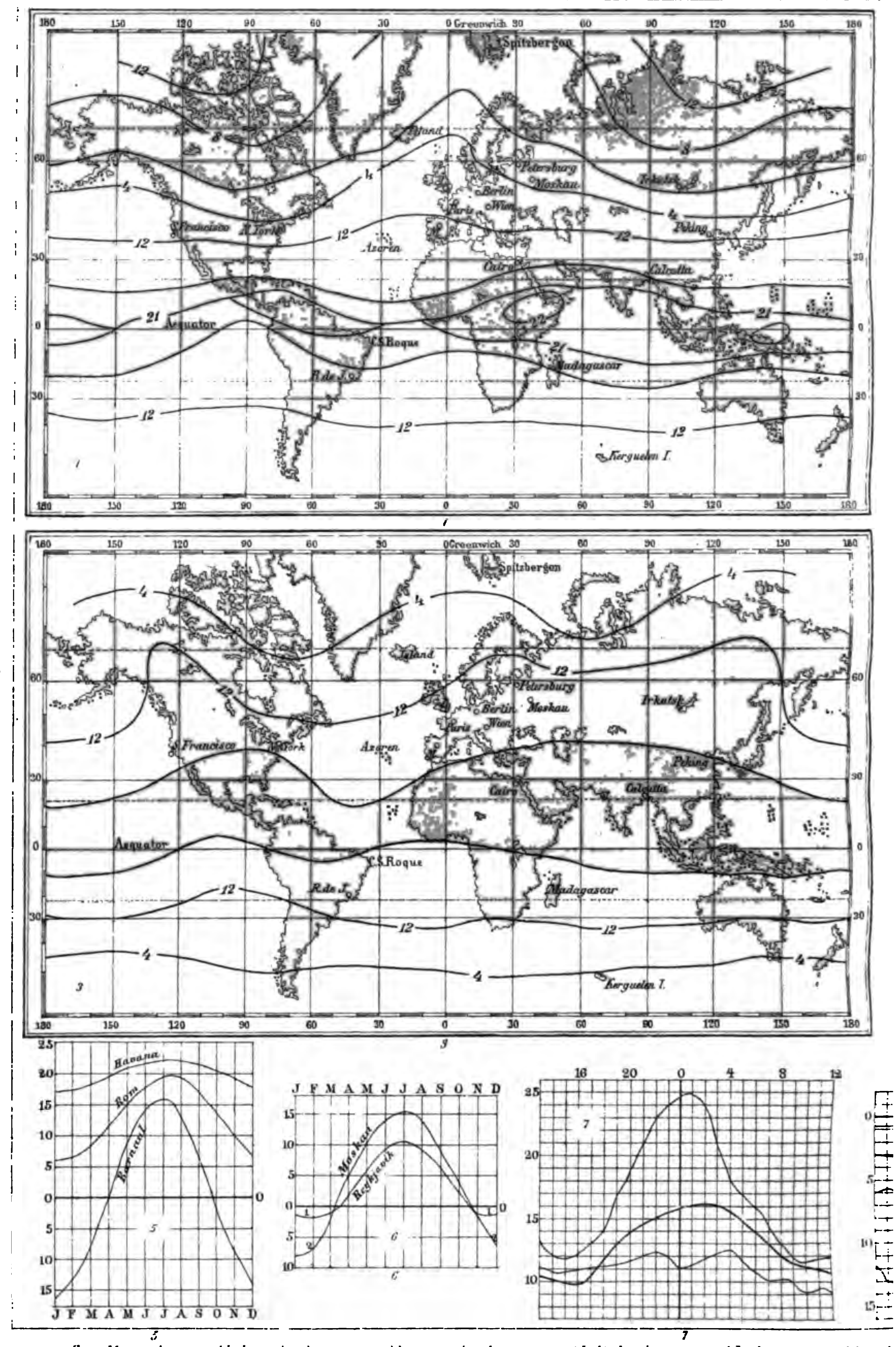
1 Tropfsteinhöhle auf Antiparos. [2] Querschnitt einer zum Theil mit Schlamm und Thierresten ausgefüllten Höhl
auf Neuseeland. [5] Idealer Fall artesischer Quelle bei halber Beckenform der Schichten: [a] Granit oder ein ähnli
[6] Ideale beckenförmige Lagerung: [a] Granit oder ein ähnliches Gestein. [b] Schichten, welche kein Wasser dur
[7] Rotuoa, h



. ³ *Höhlenförmige Ausspülungen in den Sandsteinfelsen der Sächsischen Schweiz.* ⁴ *Dampfquelle Karapiti*
alkstein oder Dolomit mit Höhlen c. ᵈ *Schiefergestein, welches kein Wasser durchlässt.* *g Erbohrte Springquelle.*
ichten, welche leicht Wasser durchlassen. ᵈ *Beliebige aufgelagerte Schichten.* *g Erbohrte artesische Quellen.*
Neuseeland.

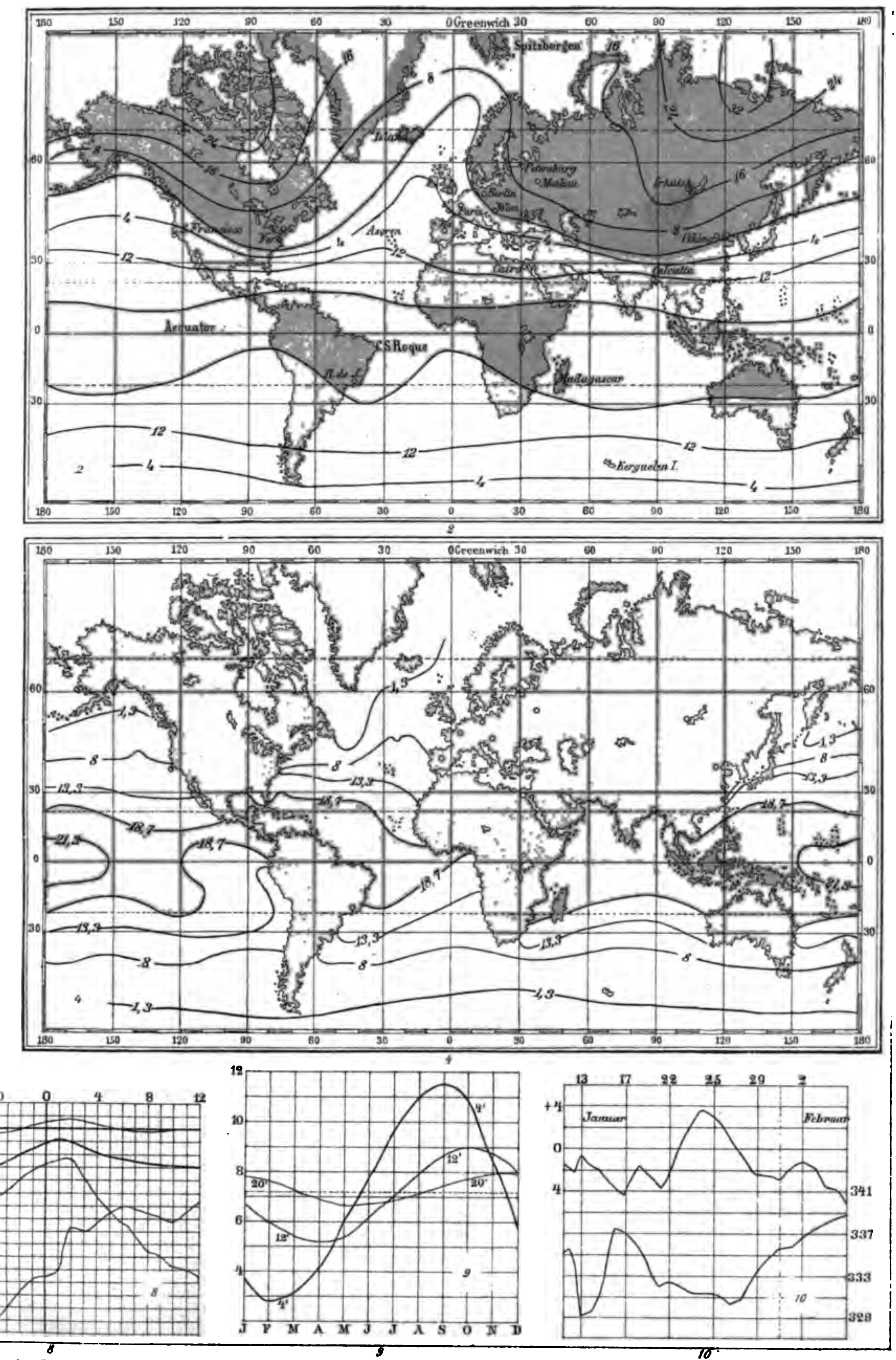






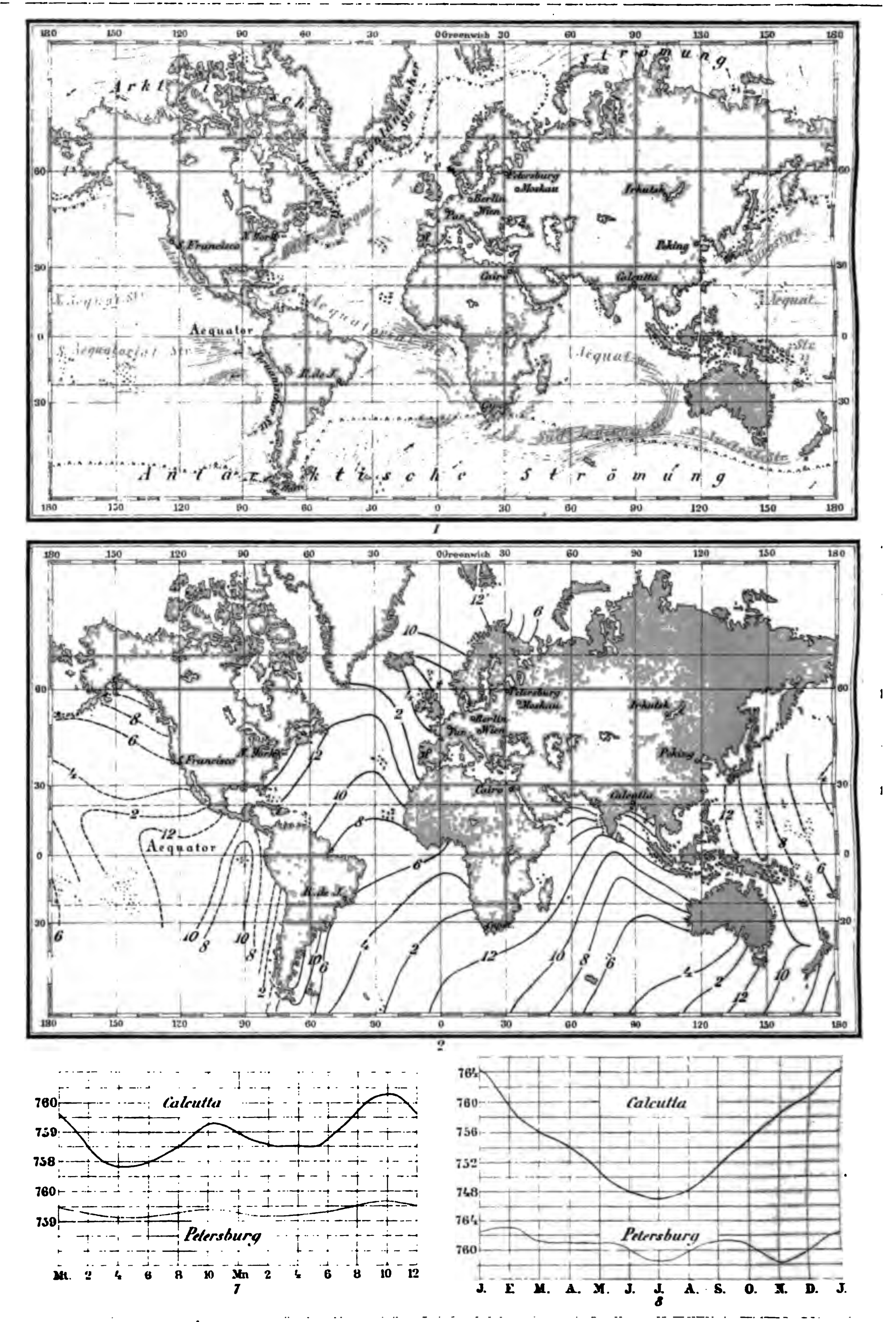
Zur Meteorologie. [1]*Jahres-Isothermen.* [2]*Januar-Isothermen.* [3]*Juli-Isothermen.* [5]*Isokrymen.* [6]*Jahres*
Temperatur für München im Januar und im Juli. [9]*Gang der Bodentemperatur zu*

Druck und Verlag v.



ng der Temperatur für Havana, Rom und Barnaul, [6]für Moskau und Reykjavik. [7 u. 8]Täglicher Gang der
n in verschiedenen Tiefen. [10]Gegensatz im Gang des Thermometers und des Barometers.

Brockhaus in Leipzig.

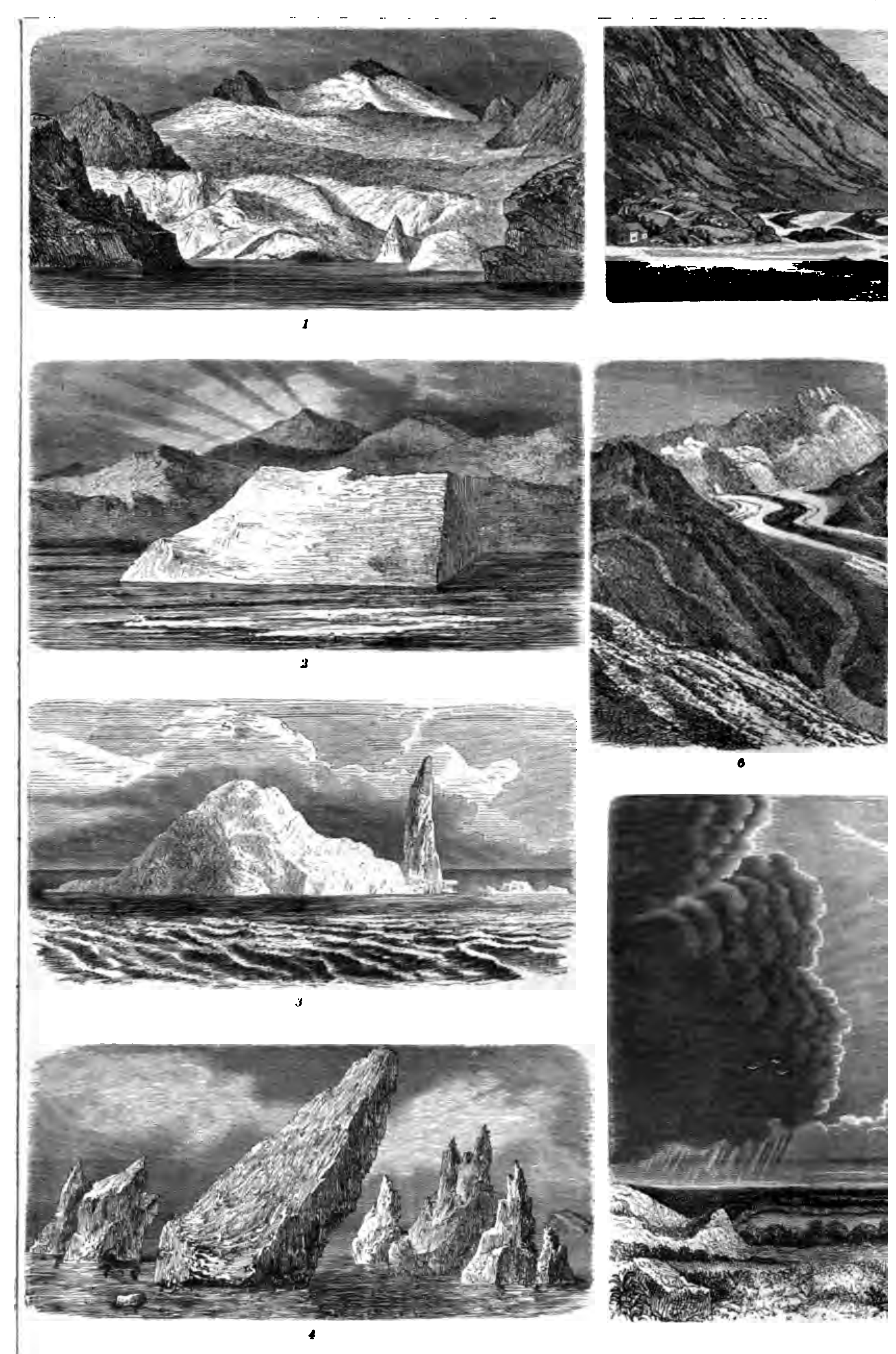


¹Meeresströmungen. ²Isorachien. ³Regen und Windkarte. ⁴Abnahme der Temperatur in der Höhe. ⁵Höhen

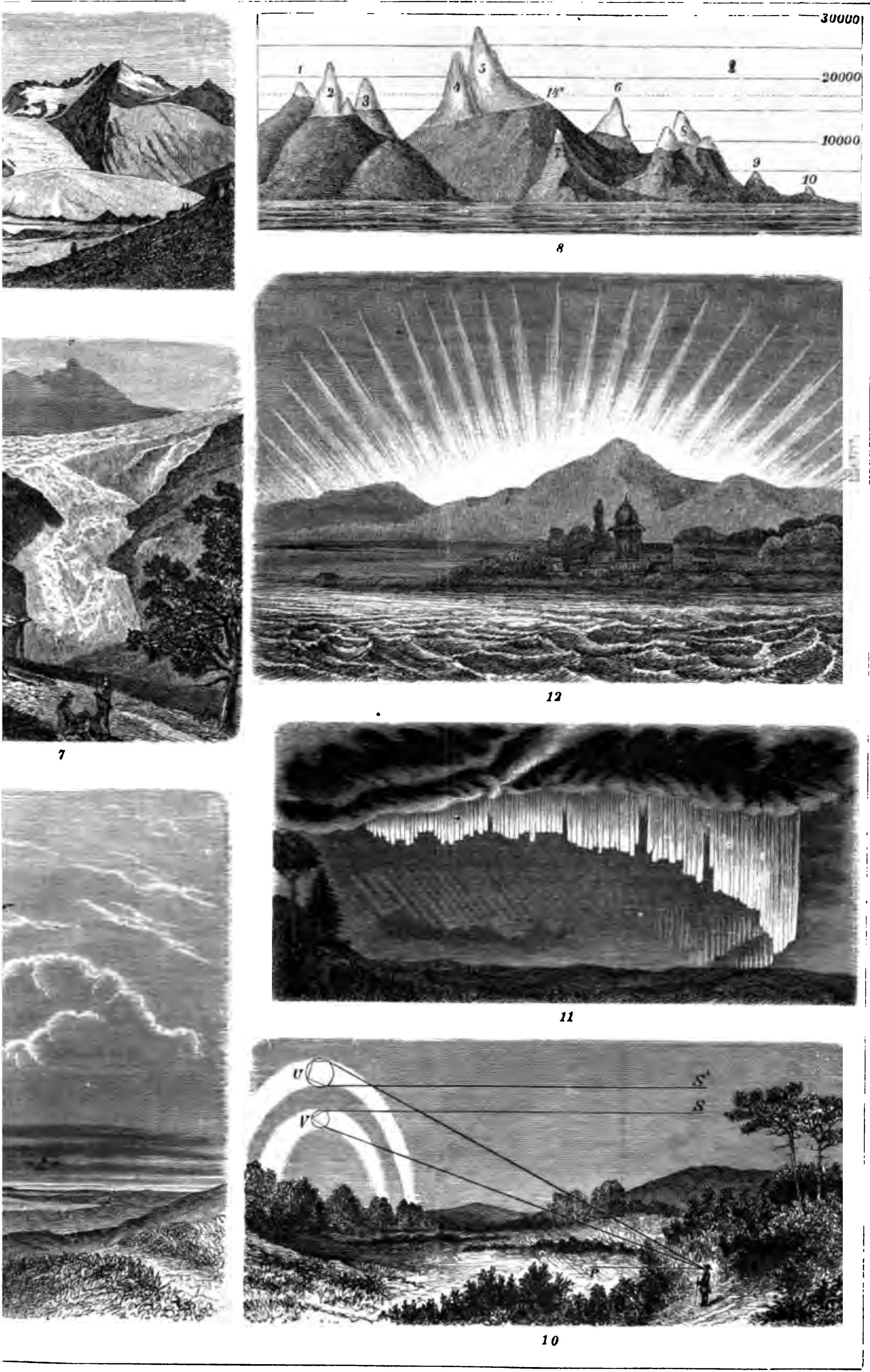
Druck und Verlag v.





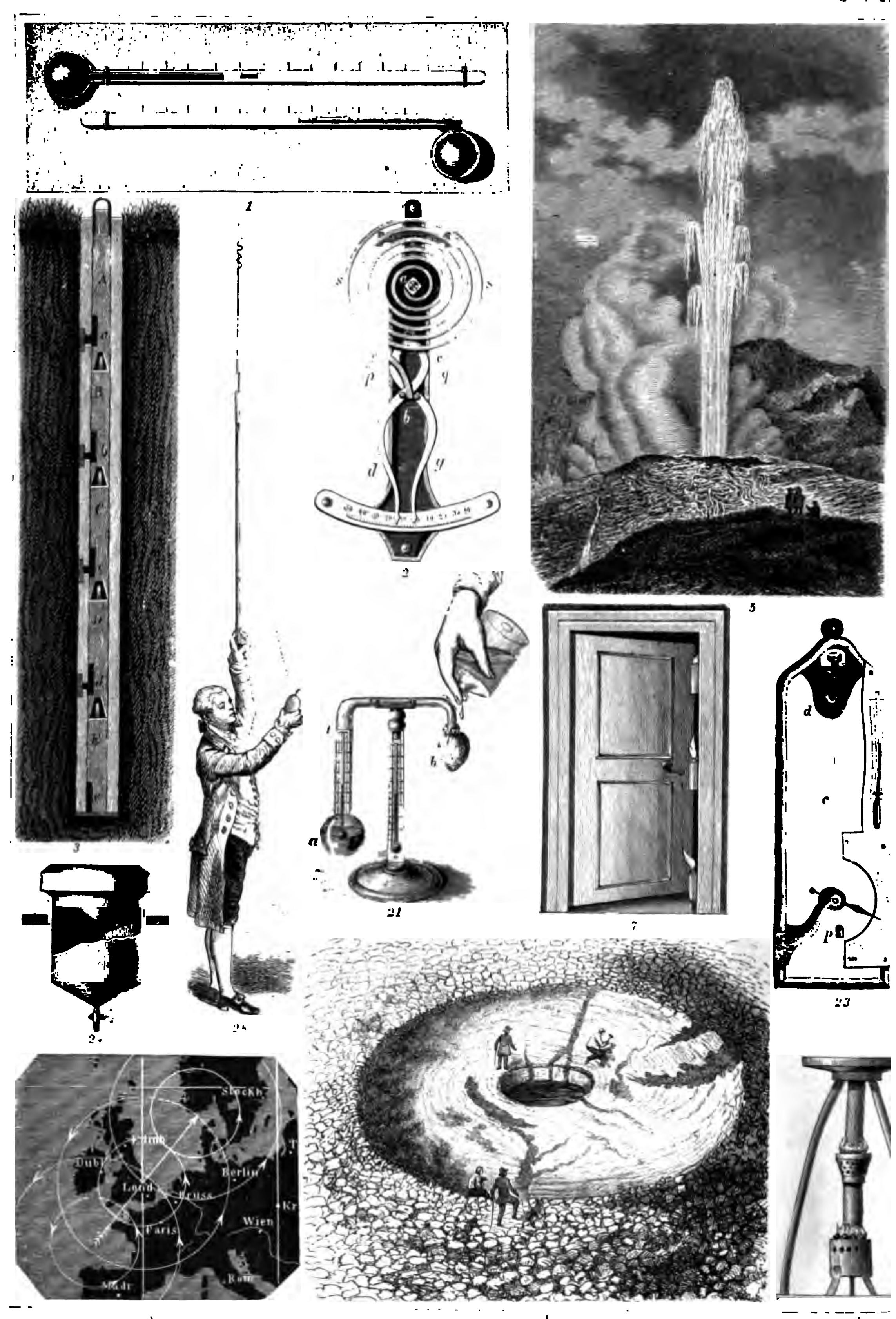


Zur Meteorologie: [1] *Gletscher auf Spitzbergen.* [2] *Grönländische Gletscher.* [3] *u.* [4] *Schwimmende Eisberge verschiedener Gebirge.* [9] *Wolke*



norănen des Rhonegletschers. [6] *Mittelmoräne des Aaregletschers.* [7] *Rosenlauigletscher.* [8] *Schneegrenze.*
ienbogen. [11 u. 12] *Nordlichter.*





[1] Thermometrograph. [2] Metallthermometer. [3] Messung der Bodentemperatur. [4] Geysirbecken. [5] Geysireruptio
in der heissen Zone. [11] Isobarische Linien des 15. November 1864. [12] Wasserhose. [13] Profil des Atlantischen O
mit Nebensonnen. [20] Nebelbild mit Hof. [21] Daniel's Hygrometer. [22] Psychrometer. [23] Saussure's Hygro

Druck und Verlag v





Taf. 15.

30000
20000
10000
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

8

12

11

U V S' S P

10

7

·ontmoränen des Rhonegletschers. [6] Mittelmoräne des Aaregletschers. [7] Rosenlauigletscher. [8] Schneegrenz-
Regenbogen. [11] u. [12] Nordlichter.

